

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**FAIXA COSTEIRA DE SALVAGUARDA NO CONCELHO DE MAFRA
PROJETADA A 2050**

Madalena Sá Nogueira da Assunção

Dissertação orientada por
Prof. Doutora Ana Ramos-Pereira
Prof. Doutor Jorge Trindade

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2015

Agradecimentos

À minha orientadora Professora Doutora Ana Ramos-Pereira, por ter aceite ser minha orientadora e pela forma como despertou em mim o interesse pela sua área de especialização desde o final da licenciatura. Agradeço-lhe por todos os conhecimentos, apoio, confiança, disponibilidade e esclarecimento de dúvidas longos destes anos, todas as críticas e sugestões que enriqueceram este estudo.

Ao meu coorientador Professor Doutor Jorge Trindade, agradeço-lhe toda a disponibilidade, esclarecimento de dúvidas, críticas e sugestões ao longo deste período.

À Proteção Civil do concelho de Mafra pela disponibilização de fontes de informação que serviram de base para a realização deste estudo.

Aos meus colegas de licenciatura e de mestrado que estiveram sempre presentes ao longo destes anos, que me ajudaram a crescer e a desenvolver os meus conhecimentos, sempre dispostos a partilhar os seus conhecimentos.

À Nádia e à Carla por toda a ajuda nesta dissertação, por me aconselharem, por me ouvirem, por me acalmarem nos momentos de maior stress, por me aturarem e, não menos importante, pela vossa amizade.

À Madalena, à Sofia e à Raquel, por esta longa amizade de 15 anos, por me ouvirem, por me aturarem, por me apoiarem, por poder contar sempre com vocês nos momentos mais difíceis e por estarem sempre presentes, mesmo nos meus momentos ausentes.

Aos meus pais, por toda a ajuda, incentivo, confiança, apoio, por estarem sempre presentes, por aturarem o meu mau-humor, principalmente nestes dois anos, sem vocês esta dissertação não seriam possível.

Por último, e não menos importante, ao Duarte, por estes 6 anos, por todo o apoio incondicional, por todo o carinho, por me ouvires e acalmares nos momentos mais difíceis, por estares sempre presente, por me aturares, por toda a amizade e por toda a ajuda nas formatações e correções desta dissertação, sem ti a mesma também não seria possível.

A todos o meu muito obrigada!

Resumo

Este estudo tem como objetivo a análise da evolução dos sistemas litorais e de faixas costeiras de salvaguarda no concelho de Mafra.

O litoral caracteriza-se por ser um dos sistemas mais complexos e dinâmicos, atualmente, com grande pressão antrópica. Esta elevada ocupação populacional pode gerar uma alteração à morfodinâmica de todos os sistemas litorais presentes e pôr em causa sua resiliência.

A cartografia base deste estudo foram fotografias aéreas e ortofotomapas de 1965 e 2010. Procedeu-se à georreferenciação e interpretação das imagens e à escolha de indicadores, tanto para os sistemas de praia, como para os sistemas de arriba.

Nesta dissertação determinaram-se as taxas de variação nos sistemas de arriba e de praia, projetam-se as faixas de salvaguarda para os anos de 2020, 2030 e 2050 e a identificação dos elementos expostos que se encontram em 2050.

A determinação da variação das taxas de recuo, nos sistemas de arriba, e de recuo/acreção nos sistemas praias para um período temporal de 45 anos, foi realizada através do *Digital Shoreline Analysis System* e da cartografia de base. As projeções das faixas de salvaguarda para os anos de 2020, 2030 e 2050 foi realizada através de modelos analíticos, tendo por base as taxas de variação, anteriormente calculadas, e da subida do nível médio do mar. A determinação dos elementos expostos no ano de 2050 para os sistemas de arriba e para os sistemas de praia tem por base a Carta de Ocupação do Uso do Solo e da Base Geográfica de Referenciação de Informação.

Os resultados relevam que, nos sistemas de arriba, as taxas de variação apresentam um recuo médio de 0,05 m/ano, tendo como valores mínimo e máximo, 0 m/ano e de 0,42 m/ano. Nos sistemas de praia as respetivas taxas de variação oscilam de praia para praia, tendo como valor máximo de acreção 0,71 m/ano e como valor máximo de erosão de 1,2 m/ano. Nas faixas de salvaguarda, os valores de recuo mais significativos ocorrem na praia de São Lourenço e na praia de Ribeira d'Ilhas coincidindo com os setores mais suscetíveis a galgamentos oceânicos. Para além disso, os resultados também relevam que os elementos expostos afetados na faixa de salvaguarda para o ano de 2050 serão maioritariamente zonas agrícolas, população entre 20-64 anos e edificado do tipo residencial, nos sistemas de arriba. Nos sistemas de praia serão afetados apoios de praia.

Palavras-chave: Taxas de recuo e acreção; Projeções a 2050; Faixa costeira de salvaguarda; Elementos expostos; Mafra

Abstract

The purpose of this study is to analyze the evolution of the coastal systems and coastline safeguarding in Mafra County.

The littoral is characterized for being one of the most complex and dynamic systems, and for having nowadays a high anthropic pressure. This high population occupancy can generate a morphodynamic change in all the present littoral systems and endanger its resilience.

The base cartography of this study has been the aerial photographs and ortophotomaps from 1965 and 2010. A georeferencing and interpretation of the images was made, as well as, the choice of the indicators, both for beach systems, and cliff systems.

In this dissertation the cliff and beach system variation rates were determined, the safeguarding coastline for 2020, 2030 and 2050 was projected and the exposed elements encountered in the coastlines for 2050 were identified.

The retreat variation rates were determined in the cliff systems and in the beach systems for a temporal period of 45 years, were done using the Digital Shoreline Analysis System and the base cartography. The projections for the safeguarding coastlines for 2020, 2030 and 2050 was made with analytic models, having for basis the previously calculated variation rates and the rise of the average sea level. The selection of the exposed elements in 2050 for the cliff and beach systems is based in the Land Cover Map and the Geographical Information Database.

The results show that in the cliff systems the variation rates reveal an average retreat of 0,05m/year, which vary between a minimum of 0 m/year and 0,42 m/year. In the beach systems the associated variation rates change from beach to beach, having a maximum accretion value of 0,71m/year and a maximum erosion value of 1,2 m/year. In coastline safeguarding the most significant decrease of values occurs on the São Lourenço and Ribeira d'Ilhas beach matching with the most susceptible sectors to overwash. The results also show that the affected exposed elements in the safeguarding coastline for 2050 will be mainly agricultural areas, population between 20 and 64 years and residential buildings, in the cliff systems. In the beach systems the beach supports will be affected.

Key-words: Retreat and accretion rates; Projections to 2050; Safeguarding Coastline; Exposed elements; Mafra

Índice Geral

Agradecimentos	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Índice Geral	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de Quadros	xvii
Capítulo I – Enquadramento temático e objetivos	1
1.1. O espaço litoral e os seus sistemas	1
1.1.1. Os sistemas litorais de ablação	7
1.1.2. Os sistemas litorais de acreção	8
1.2. Resiliência dos sistemas litorais	10
1.3. Perigosidade e Vulnerabilidade	12
1.4. Objetivos e estrutura da dissertação	14
Capítulo II – Traços gerais da área de estudo	17
2.1. O quadro geológico	18
2.2. Enquadramento geomorfológico	24
2.3. Caracterização climática.....	34
2.4. Caracterização do clima de agitação marítima	36
2.5. Circulação de sedimentos na deriva litoral	42
Capítulo III – Fontes, Métodos e Técnicas.....	45
3.1. Fontes de informação	45
3.2. Critérios de identificação de subsistemas litorais.....	48
3.3. Indicadores de recuo ou estabilidade de arribas	53
3.4. Indicadores de recuo ou acreção de praias	55
3.5. Delimitação das faixas de salvaguarda nos sistemas litorais	59
3.5.1. Arribas	60
3.5.2. Praias	63
3.6. Critérios de identificação dos elementos expostos	68
Capítulo IV – Evolução dos sistemas litorais no concelho de Mafra.....	73
4.1. Os processos de evolução de arribas e os seus recuos.....	73
4.2. Tendência evolutiva da posição de linha de costa em sistemas praia.....	85
Capítulo V – Faixas de salvaguarda e elementos expostos	93
5.1. Determinação nos sistemas de arriba.....	93

5.2. Determinação nos sistemas de praia	107
Considerações Finais	127
Referências Bibliográficas	131

Índice de Figuras

Figura 1.1: Modelo conceptual que relaciona os objetivos da dissertação.....	15
Figura 2.1: Enquadramento geográfico do concelho de Mafra.....	17
Figura 2.2: Representação das unidades litostratigráficas	19
Figura 2.3: Representação das famílias de falhas, inclinação e direção das camadas e planos de estratificação nas arribas.	23
Figura 2.4: Representação das curvas de nível ao longo do litoral e dos perfis nas diversas praias	25
Figura 2.5: Representação dos sistemas litorais na área de estudo.....	27
Figura 2.6: Setores de arriba mergulhante junto à praia dos Coxos, arriba sul. Fotografia de 11 de janeiro de 2014 e orientada de S-N	28
Figura 2.7: Sistema arriba com base coberta por blocos a sul da praia de Ribeira d'Ilhas. Fotografia de 11 de janeiro de 2014 e orientada de E-W	28
Figura 2.8: Plataforma rochosa de sopé a norte da praia de Ribeira d'Ilhas. Fotografia de 11 de janeiro de 2014 e orientada de S-N	29
Figura 2.9: Sistema praia alongada e estreita-arriba na praia da Empa, Matadouro, São Sebastião e Algodio.	29
Figura 2.10: Praia encastrada-arriba na praia da Baleia (Ericeira). Fotografia de 20 de julho de 2014 e orientada de S-N.....	30
Figura 2.11: Praia encastrada-arriba na praia do Peixe (Ericeira). Fotografia de 10 de janeiro de 2014 e orientada de S-N.....	30
Figura 2.12: Praia encastrada-arriba na praia da Calada. Fonte: SIARL. Fotografia orientada de W-E.....	31
Figura 2.13: Sistema praia-planície aluvial na praia da Foz do Lizandro. Fotografia de 6 de setembro de 2015 e orientada de N-S.....	31
Figura 2.14: Sistema praia-planície aluvial na praia de Ribeira d'Ilhas. Fotografia de 10 de janeiro de 2014 e orientada de S-N	32
Figura 2.15: Sistema praia-planície aluvial na praia de São Lourenço. Fonte: SIARL. Fotografia orientada de W-E	32
Figura 2.16: Porto de Pesca na Praia do Peixe (Ericeira). Fotografia de 10 de janeiro de 2014 e orientada de S-N	33
Figura 2.17: Litoral artificializado na praia da Foz do Lizandro.....	33
Figura 2.18: Temperaturas (T°C) no período de 1951-1980 nas estações climatológicas do Cabo da Roca e do Cabo Carvoeiro, respetivamente.....	34
Figura 2.19: Precipitação (P mm) média mensal no período de 1951-1980 nas estações climatológicas do Cabo da Roca e do Cabo Carvoeiro, respetivamente.....	35
Figura 2.20: Distribuição da Altura Significativa (H_s) da ondulação a partir dos dados modelados da Figueira da Foz.....	38
Figura 2.21: Distribuição de Período Médio (T_z) da ondulação a partir dos dados modelados da Figueira da Foz.	39
Figura 2.22: Distribuição da Direção Significativa (D_s) da ondulação a partir dos dados modelados da Figueira da Foz.....	39
Figura 3.1: Processos de georreferenciação das fotografias aéreas através da rede de pontos em comum do ortofotomapa e das fotografias aéreas. A: Ajuste da imagem após a aplicação	

do método de transformação spline. B: Identificação de todos os pontos em comum utilizados com a aplicação do método de transformação.	48
Figura 3.2: Variação espacial do erro.....	49
Figura 3.3: Delimitação da linha de costa na Praia de Ribeira d’Ilhas	50
Figura 3.4 e 3.5: Delimitação da linha do topo de arriba em 2010 e 1965, respetivamente, na praia de Ribeira d’Ilhas.....	51
Figura 3.6: Delimitação da base da arriba na Praia de Ribeira d’Ilhas.....	52
Figura 3.7: Delimitação da plataforma rochosa de sopé a Norte da Praia de Ribeira d’Ilhas	52
Figura 3.8: Excerto do ortofotomapa de 2010, com a representação das linhas do topo de arriba, da linha de base e dos transectos.....	53
Figuras 3.9 e 3.10: Exemplos de aplicação do indicador da base de arriba para o período temporal de 1965 e 2010 na praia da Calada	55
Figura 3.11: Exemplo de aplicação do indicador de linha de vegetação na praia de Ribeira d’Ilhas no período temporal de 2010.....	56
Figura 3.12 e 3.13: Exemplo de aplicação do indicador de linha de vegetação dunar na praia da Foz do Lizandro para os períodos de 1965 e 2010.....	57
Figura 3.14: Exemplo de aplicação do indicador de estrutura de proteção do litoral na praia do Algodio para o período temporal de 2010.....	58
Figura 3.15: Excerto do ortofotomapa de 2010, com a representação da linha de costa para os anos de 1965 e 2010, da linha de base e dos transectos na praia do Algodio	59
Figura 3.16: Representação da dispersão dos recuos calculados para o período temporal de 1965-2010 em relação aos recuos projetados para 2050.....	62
Figura 3.17: Representação da dispersão dos recuos calculados para o período temporal de 1965-2010 em relação aos recuos projetados para 2050, sem contabilização dos temporais. .	67
Figura 3.18: Representação da dispersão dos recuos calculados para o período temporal de 1965-2010 em relação aos recuos projetados para 2050, com contabilização dos temporais..	67
Figura 3.19: COS de 2009 do concelho de Maфра com as respetivas correspondências	69
Figura 4.1: A evolução dos sistemas de arribas. A erosão basal pela ondulação é essencial para o recuo das arribas. Adaptado de Sunamura, 1983 <i>in</i> Sunamura, 1992.....	73
Figura 4.2: Fatores que afetam a erosão das arribas. Adaptado de Sunamura (1983) <i>in</i> Sunamura (1992).....	74
Figura 4.3: Exemplos da distribuição de movimentos de massa e erosão hídrica no litoral do concelho de Maфра	75
Figura 4.4: Espacialização dos recuos: a) entre o limite norte do concelho e a praia de São Lourenço, b) entre a praia de São Lourenço e Dois Irmãos e c) entre Dois Irmãos e a praia da Orelheira.	77
Figura 4.5: Espacialização dos recuos entre a Ericeira e a praia da Foz do Lizandro.....	78
Figura 4.6: Espacialização dos recuos na praia do Matadouro e na praia de São Sebastião.....	78
Figura 4.7: Exemplos de variação de 0 m/ano referente ao erro do processo de georreferenciação. A: Na praia dos Coxos. B: Na praia da Orelheira	79
Figura 4.8: Exemplo de variação de 0 m/ano a sul da praia da Baleia	80
Figura 4.9: Exemplo de variação de [0,15 a 0[m/ano na Ericeira	81
Figura 4.10: Exemplo de variação de [0,15 a 0[m/ano na praia de S. Lourenço	81
Figura 4.11: Exemplo de variação de [0,15 a 0[m/ano na praia do Matadouro e na praia de São Sebastião	82

Figura 4.12: Exemplo de variação de [0,15 a 0[m/ano na praia da Foz do Lizandro	82
Figura 4.13: Exemplo de variação de [0,25 a 0,15[m/ano a norte da praia da Calada	83
Figura 4.14: Exemplo de variação de [0,35 a 0,25[m/ano na praia da Orelheira	84
Figura 4.15: Exemplo de variação de [0,42 a 0,35[m/ano na praia de São Sebastião	85
Figura 4.16: Localização dos sistemas praia	86
Figura 4.17: Evolução da tendência da linha de costa na praia da Calada com a respetiva variação temporal e espacial segundo os indicadores de base da arriba e da área sob influência antrópica	87
Figura 4.18: Evolução da tendência da linha de costa na praia de São Lourenço com a respetiva variação espacial e temporal segundo os indicadores de base da arriba e da linha de vegetação	87
Figura 4.19: Evolução da tendência da linha de costa na praia dos Coxos com a respetiva variação temporal e espacial segundo o indicador de base da arriba	88
Figura 4.20: Evolução da tendência da linha de costa na praia de Ribeira d'Ilhas com a respetiva variação temporal e espacial segundo os indicadores da linha de vegetação e da área sob influência antrópica	89
Figura 4.21: Evolução da tendência da linha de costa na praia do Algodio com a respetiva variação temporal e espacial segundo o indicador de estrutura de proteção do litoral	89
Figura 4.22: Evolução da tendência da linha de costa na praia da Baleia com a respetiva variação temporal e espacial segundo o indicador de base da arriba e de influência antrópica	90
Figura 4.23: Evolução da tendência da linha de costa na praia da Foz do Lizandro com a respetiva variação espacial e temporal segundo o indicador da linha de vegetação dunar	91
Figura 5.1: A previsão do recuo da linha do topo de arriba tendo em conta os valores apurados e nos modelos <i>Leatherman model</i> e do <i>Scape model</i> no pior cenário da subida do nível médio do mar, segundo o IPCC, para 2050.	94
Figura 5.2: Exemplo de erosão hídrica a norte da praia da Calada	94
Figura 5.3: Exemplo de movimento de massa na praia da Orelheira	95
Figura 5.4: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde o limite do concelho até à praia da Calada.....	96
Figura 5.5: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a praia de São Lourenço.....	97
Figura 5.6: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a praia da de São Lourenço	97
Figura 5.7: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde Dois Irmãos à praia de Ribeira d'Ilhas	98
Figura 5.8: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a praia dos Coxos até Dois Irmãos.....	98
Figura 5.9: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a Ericeira à praia.....	99
Figura 5.10: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a praia da Orelheira à praia.....	99
Figura 5.11: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde o limite norte do concelho até à praia da Calada (B - inertes e vegetação ripícola; C - agricultura de sequeiro)	100
Figura 5.12: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde a praia da Calada à praia de São Lourenço (A- pinheiro manso; B- mato, herbáceas e área de extração de inertes; C - agricultura de sequeiro; D - edifício aglomerado; E - rede viária)	101

Figura 5.13: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde a praia de São Lourenço à praia dos Coxos (B- área de extração de inertes, vegetação ripícola e mato; D - edifício aglomerado)	102
Figura 5.14: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde o sul da praia dos Coxos até Dois Irmãos. (B - mato e área de extração de inertes; C - vegetação ripícola e agricultura de sequeiro)	103
Figura 5.15: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde Dois Irmãos à praia de Ribeira d’Ilhas. (B - área de extração de inertes e vegetação ripícola)	104
Figura 5.16: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde a praia da Orelheira à praia de São Sebastião. (A - outras folhosas; B - mato, área de extração de inertes; D - edifício aglomerado; E - rede viária)	105
Figura 5.17: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde a Ericeira à praia da Foz do Lizandro. (B - vegetação ripícola, herbáceas e área de extração de inertes; D - edifício aglomerado; E – rede viária	106
Figura 5.18: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia da Calada	109
Figura 5.19: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia de São Lourenço	110
Figura 5.20: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia dos Coxos	110
Figura 5.21: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia de Ribeira d’Ilhas	111
Figura 5.22: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia do Algodio	111
Figura 5.23: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia da Baleia	112
Figura 5.24: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia da Foz do Lizandro.....	112
Figura 5.25: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia da Calada	114
Figura 5.26: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia de São Lourenço	115
Figura 5.27: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia dos Coxos	115
Figura 5.28: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia de Ribeira d’Ilhas	116
Figura 5.29: Representação das linhas S0, S20, S20c , S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia do Algodio	116
Figura 5.30: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia da Baleia	117
Figura 5.31: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia da Foz do Lizandro.....	117
Figura 5.32: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2050, na praia da Calada	119

Figura 5.33: Representação das linhas S0, S40, S40c ,S40s e da faixa de salvaguarda para o ano de 2050, na praia de São Lourenço	120
Figura 5.34: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2050, na praia dos Coxos	120
Figura 5.35: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2050, na praia de Ribeira d’Ilhas	121
Figura 5.36: Representação das linhas S0, S40, S40c ,S40s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2050, na praia do Algodão	121
Figura 5.37: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para 2050, na praia da Baleia	122
Figura 5.38: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para 2050, na praia da Foz do Lizandro.....	122
Figura 5.39: Representação do setor suscetível a galgamento oceânico na praia de São Lourenço: a) para o ano de 2020; b) para o ano de 2030	123
Figura 5.40: Representação do setor suscetível a galgamento oceânico, para o ano de 2050, na praia de São Lourenço.....	123
Figura 5.41: Representação do setor suscetível a galgamento oceânico na praia de Ribeira d’Ilhas: a) para o ano de 2020; b) para o ano de 2030	124
Figura 5.42: Representação do setor suscetível a galgamento oceânico, para o ano de 2050, na praia de Ribeira d’Ilhas.....	124

Índice de Quadros

Quadro 1.1: Exemplos de critérios de delimitação das faixas de risco/salvaguarda dos diversos POOC	3
Quadro 1.2: Critérios de delimitação das tipologias presentes nas áreas de proteção do litoral de acordo com a REN (LMPMAVE)	4
Quadro 1.3: Critérios do traçado da LMPMAVE nas diferentes tipologias	6
Quadro 1.4: Fatores condicionantes da dinâmica de arribas	8
Quadro 2.1: Características geomorfológicas das plataformas rochosas de sopé do litoral do concelho de Maфра	29
Quadro 2.2: Temperatura média anual máxima, média anual mínima, média anual e amplitude térmica anual no período de 1951-1980 nas estações climatológicas do Cabo da Roca e do Cabo Carvoeiro	35
Quadro 2.3: Estudos do clima de agitação marítima no litoral ocidental de Portugal. (o.v.: observação visual; b.o.: bóia ondógrafo; m.n.: modelação numérica; Hs: altura significativa de largo; Ts: período significativo; Tz: período médio; Tp: período de pico; D: rumo; \bar{X} : média; f: mais frequente)	36
Quadro 2.4: Frequência de valores associados a tempestades, nas bóias de Leixões e Sines, entre Janeiro de 2004 e julho de 2007	40
Quadro 2.5: Temporais ocorridos em Sines	40
Quadro 2.6: Temporais ocorridos em Leixões	41
Quadro 3.1: Bases cartográficas utilizadas com a respetiva fonte e escala	46
Quadro 3.2: Nomenclatura COS 2009	69
Quadro 3.3: Critérios de fotointerpretação para cada nomenclatura.	70
Quadro 4.1: Síntese bibliográfica da dinâmica de arriba próximo da área de estudo	76
Quadro 5.1: Representação dos valores (m/ano) no Scape model e no Scape model modificado nos respetivos locais de estudo	96
Quadro 5.2: Representação do número de total de residentes e tipologia do edificado para cada setor da área de estudo no cenário de 2050	106
Quadro 5.3: Representação do número total de residentes e por classes etárias, tipologia e material de construção do edificado e o número de pisos por edificado, para cada praia, que será afetado em 2050	125

Lista de Acrónimos

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

ARH – Administração da Região Hidrográfica

ASLR – Accelerating Sea-Level Rise

BGRI – Base Geográfica de Referenciação de Informação

COS – Carta de Ocupação do Solo

DL – Decreto-Lei

DSAS – Digital Shoreline Analysis System

EPR – End Point Rate

GPS – Global Positioning System

IPCC – Intergovernmental Panel Climate Change

LMPMAVE – Linha Máxima Preia-Mar das Águas Vivas Equinociais

NMM – Nível Médio do Mar

POOC – Planos de Ordenamento da Orla Costeira

POC - Programas da Orla Costeira

REN – Reserva Ecológica Nacional

SER – Shoreline Evolution Rate

SIARL – Sistema de Administração do Recurso ao Litoral

SNIRL – Sistema Nacional de Informação dos Recursos do Litoral

Capítulo I – Enquadramento temático e objetivos

1.1. O espaço litoral e os seus sistemas

Os sistemas litorais são sistemas complexos e muito dinâmicos, resultado da interface existente entre a geosfera, a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera, bem como pelos vários subsistemas que se cruzam na zona costeira (Alveirinho Dias, 2004). Estes sistemas podem agrupar-se em formas simples ou compósitas, podendo estas ser formas de acumulação de sedimentos (praias, dunas, restingas, deltas) ou formas de erosão (arriba, laguna, plataforma rochosa de sopé, estuários). Estas formas encontram-se separadamente, mas mais frequentemente, associam-se, constituindo assim, formas compósitas, onde se combinam as diversas formas simples (Ramos-Pereira, 2008b).

Os sedimentos presentes no litoral provêm de sedimentos marinhos ou de sedimentos continentais. Os sedimentos continentais provêm dos sistemas fluviais (aluviões) e dos sistemas glaciários (*till*). Os sedimentos marinhos advêm dos sedimentos na plataforma continental e dos provenientes da abrasão litoral (Ramos-Pereira, 2001).

A maioria dos elementos que determinam as características do litoral contém grande variabilidade a diferentes escalas temporais e espaciais. O nível marinho encontra-se sempre a variar devido às marés, às influências meteorológicas geradoras da ondulação, à elevação do nível médio do mar. O abastecimento de sedimentos é condicionado pelas diferentes litologias, pela agitação marítima (ondas e correntes litorais), direção do vento. Assim, as zonas costeiras estão sempre a tender para o equilíbrio dinâmico sem nunca (com exceções) o atingirem (Alveirinho Dias, 2004).

O litoral exerce sobre a população grande atratividade devido a vários fatores, quer sejam naturais como a amenidade do clima e os recursos naturais, quer pelo valor cénico e pelo interesse económico que permitem o desenvolvimento de atividades de turismo e lazer e portuárias. É, por isso, uma área de concentração populacional, de atividades económicas e portuárias (Ramos-Pereira, 2008a).

Para além disso, a zona costeira nacional é uma das parcelas do território mais rica e mais complexa em termos ambientais devido à grande concentração de habitats e diversidade biológica (Veloso-Gomes *et al*, 2007).

O processo de litoralização do território tem-se intensificado ao longo das últimas décadas. Em Portugal, estima-se que 30% da zona costeira se encontra ocupada com construções

permanentes, o que tem contribuído para a criação de situações de conflito de uso do solo (Veloso-Gomes *et al*, 2007; Resolução do Conselho de Ministros nº82/2009).

Assim, o interesse crescente pelas dinâmicas físicas e biofísicas dos espaços litorais deve-se fundamentalmente à instalação maciça da população, muitas vezes em desrespeito pela dinâmica dos sistemas litorais.

A excessiva concentração de população ao longo do litoral tem gerado diversos conflitos. Este processo, conduziu, nos últimos 15 anos, à elaboração de 9 Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC). Atualmente, de acordo com a Lei nº31/2014, Lei Bases Gerais de Política Pública de Solos, de Ordenamento do Território e de Urbanismo (LBPSOTU), estes planos passam a ser designados por Programas de Orla Costeira (POC) e que têm os seguintes objetivos específicos (Decreto-Lei nº 159/2012):

- “Estabelecer regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais, bem como o regime de gestão sustentável do território da orla costeira;
- Potenciar um desenvolvimento sustentável da zona costeira através de uma abordagem prospetiva, dinâmica e adaptativa que fomente a sua competitividade enquanto espaço produtivo, gerador de riqueza e de emprego;
- Compatibilizar os diferentes usos e atividades específicos da orla costeira, visando potenciar a utilização dos recursos próprios desta área com respeito pela capacidade de carga dos sistemas naturais e o respetivo saneamento básico;
- Promover a requalificação dos recursos hídricos, tendo em atenção as conectividades e interdependências entre os meios hídricos interiores e costeiros e sistemas naturais associados;
- Valorizar e qualificar as praias, em particular as consideradas estratégicas por motivos ambientais e turísticos;
- Classificar e disciplinar o uso das praias especificamente vocacionadas para uso balnear;
- Proteger e valorizar os ecossistemas marinhos e terrestres, assegurando a conservação da natureza e da biodiversidade;
- Identificar e estabelecer regimes para a salvaguarda das faixas de risco face aos diversos usos e ocupações, numa perspetiva de médio e longo prazo;
- Garantir a articulação entre os instrumentos de gestão territorial, planos e programas de interesse local, regional e nacional, aplicáveis na área abrangida pelo POOC.”

Assim, de acordo com estes objetivos, os POOC abordam as diversas faixas de risco/salvaguarda, na qual define os seus critérios de delimitação (Quadro 1.1).

Quadro 1.1

Exemplos de critérios de delimitação das faixas de risco/salvaguarda dos diversos POOC

Tipologia	CrITÉRIOS delimitação
Faixa de risco/salvaguarda em litoral de arriba¹	<ul style="list-style-type: none"> POOC Alcobaça-Mafra: Possui referência às faixas de risco nas arribas, em que “as suas dimensões variam de acordo com as características do troço e a altura da arriba (H), que poderá ser calculada pela média das alturas máxima e mínima num dado sector quando estas não variem mais de 10%”, nomeadamente: <ol style="list-style-type: none"> A faixa de risco adjacente ao sopé da arriba: em que o seu critério (metros) é de 1 a 0,5 x H, este valor varia de setor para setor; A faixa de risco adjacente à crista da arriba: em que o seu critério (metros) é de 1 a 0,5 x H, este valor varia de setor para setor; A faixa de proteção adicional: em que o seu critério (metros) é de 1 a 0,5 x H, este valor varia de setor para setor. (Artigo 11º, Capítulo I, Título II + Anexo I, da Resolução do CM nº11/2002) POOC Sintra-Sado: Possui referência às faixas de salvaguarda em litoral de arriba e estas subdividem-se em: <ol style="list-style-type: none"> Faixa de risco adjacente ao sopé da arriba: “sendo a sua largura igual a uma vez a altura média da arriba.” (Artigo 41º, Capítulo III, da Resolução do CM nº86/2003) Faixa de risco adjacente à crista da arriba: “a largura destas faixas encontra-se prevista nos planos de praia e corresponde à altura da arriba multiplicada por um factor numérico igual ou inferior a 1,0 ou a um valor numérico constante independentemente da altura da arriba.” (Artigo 42º, Capítulo III, da Resolução do CM nº86/2003) Faixa de proteção à arriba: “a largura destas faixas consta nos planos de praia.” (Artigo 43º, Capítulo III, da Resolução do CM nº86/2003) <p>Faixas de risco e de proteção não abrangidas por planos de praia: “Valores em metros, contados da crista da arriba para o interior, em direcção perpendicular ao contorno da crista da arriba. Valores referidos à altura da arriba (H), definida pela cota mais alta em cada local.” (Anexo 3, da Resolução do CM nº86/2003)</p>
Faixa de salvaguarda em litoral baixo e arenoso	<ul style="list-style-type: none"> POOC Sintra-Sado: Possui referências às faixas de salvaguarda em litoral baixo e arenoso e estas subdividem-se em: <ol style="list-style-type: none"> Faixa de risco em litoral baixo e arenoso: <ul style="list-style-type: none"> “Áreas do terreno destinada a absorver a erosão para o interior dos sistemas dunares.” A largura da faixa de risco é “variável, definida por uma linha paralela à curva de nível dos 6 m (8 ZH), dela distando 35 m para terra, e desenvolvendo-se até ao plano de água.” (Artigo 45º, Capítulo III + Anexo IV, da Resolução do CM nº86/2003) Faixa de proteção em litoral baixo e arenoso: <ul style="list-style-type: none"> É “uma faixa de limitação de factores de instabilidade na vizinhança imediata dos sistemas dunares, e de absorção da erosão adjacente à faixa de risco e do galgamento.” “Faixa definida para terra, adjacente à faixa de risco e desenvolvendo-se até: <ol style="list-style-type: none"> À cota 6 m (8 ZH), quando atrás da faixa de risco as cotas são inferiores à cota de referência da faixa de risco (6 m).” À curva de nível dos 8 m (10 ZH), com um valor mínimo de largura de 35 m, quando as cotas do terreno são superiores à cota de referência da faixa de risco.” <p>(Artigo 46º, Capítulo III + Anexo IV, da Resolução do CM nº 86/2003)</p>

¹“No POOC Sintra-Sado, o último a ser publicado, estabelece a partir do Artigo 40º “as faixas de salvaguarda em litoral de arriba” com as mesmas categorias e muito semelhantes às estabelecidas no POOC Alcobaça-Mafra” Marques *et al* (2013a).

Marques (2009) considera o POOC uma oportunidade para a definição de regras aplicáveis à ocupação humana e uso das áreas costeiras devido à concentração de atividades económicas e de outros fatores salientados anteriormente.

Marques *et al* (2013a) afirma que o POOC Cascais (Cidadela)-Forte de São Julião da Barra, o primeiro a ser regularizado, aborda uma referência a uma cartografia de risco, não contendo os seus critérios de elaboração, bem como nenhuma definição relativamente às faixas de risco sobre a evolução das arribas.

Os mesmos autores também afirmam que o POOC Ovar-Marinha Grande, o segundo a ser publicado, é omissivo relativamente aos riscos da evolução das arribas assim como não contempla nos planos de praia na área das arribas de São Pedro de Moel, sendo esta uma área de intervenção do mesmo plano.

Para além disso, e tendo em conta os mesmos autores, só a partir do POOC Alcobaça-Mafra é que são introduzidos os critérios de delimitação referente às arribas e o mesmo plano omite critérios de delimitação do litoral baixo e arenoso. Posto isto, a partir do quadro 1.1 pode-se observar os critérios de delimitação das faixas de risco/salvaguarda existentes nos POOC em vigor para os diversos tipos de litoral.

Na Reserva Ecológica Nacional (REN) (Decreto-Lei nº239/2012 de 2 de novembro, que procede à primeira alteração ao DL nº166/2008 de 22 de agosto), aborda o litoral e os seus usos compatíveis, na qual define os critérios de delimitação das tipologias presentes nas áreas de proteção do litoral e nas áreas de prevenção de riscos naturais (Quadro 1.2).

Quadro 1.2

Critérios de delimitação das tipologias presentes nas áreas de proteção do litoral de acordo com a REN (LMPMAVE)

Tipologia	Critérios de delimitação
Faixa marítima de proteção costeira	“É uma faixa ao longo de toda a costa marítima no sentido do oceano, correspondente à parte da zona nerítica com maior riqueza biológica, delimitada superiormente pela linha que limita o leito das águas do mar, ou pelo limite de jusante das águas de transição e inferiormente pela batimétrica dos 30 m” (alínea a, Secção I, Anexo I, do DL n.º166/2008).
Zonas ameaçadas pelo mar	“São áreas contíguas à margem das águas do mar que, em função das suas características fisiográficas e morfológicas, evidenciam elevada suscetibilidade à ocorrência de inundações por galgamento oceânico”; “ A delimitação das zonas ameaçadas pelo mar deve incluir as áreas suscetíveis de serem inundadas por galgamento oceânico e contemplar todos os locais com indícios e ou registos de galgamentos durante episódios de temporal” (alínea b, Secção III, Anexo I, do DL n.º 239/2012).
Praias	“Deve considerar-se a área compreendida entre a linha representativa da profundidade de fecho do regime da ondulação no respetivo setor da costa e a linha que delimita a atividade do espraio das ondas ou de galgamento durante episódio de temporal, a qual, consoante o contexto geomorfológico presente, poderá ser substituída pela base da duna embrionária/frontal ou pela base da escarpa de erosão entalhada no cordão dunar ou pela base da arriba” (alínea b, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).

Barreiras detríticas (restingas, barreiras soldadas e ilhas-barreira)	<p>a) “As restingas correspondem à área compreendida entre as linhas de máxima baixa-mar de águas vivas equinociais, que a limitam quando esta se projeta em direção ao mar, ou entre a linha de máxima baixa-mar de águas vivas equinociais do lado oceânico e o sapal ou estuário, quando se desenvolva ao longo da embocadura de um estuário.</p> <p>b) As barreiras soldadas correspondem à área compreendida entre as linhas de máxima baixa-mar de águas vivas equinociais que a limitam, ou entre a linha de máxima baixa-mar de águas equinociais, do lado oceânico, e o sapal ou estuário, do lado interior.</p> <p>c) As ilhas-barreira correspondem à área compreendida entre a linha de máxima baixa-mar de águas vivas equinociais, do lado oceânico, e a laguna ou sapal, do lado interior” (alínea c, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).</p>
Tômbolos	“Deve considerar-se a área de acumulação de sedimentos detríticos cujo limite inferior é definido pela linha representativa da profundidade de fecho para o regime da ondulação no respetivo setor de costa e, nos topos, pela linha que representa o contacto entre aquela acumulação arenosa e as formações geológicas de substrato por ela unidas” (alínea d, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).
Sapais	“São ambientes sedimentares de acumulação localizados na zona intertidal elevada, acima do nível médio do mar local, de litorais abrigados, ocupados por vegetação halofítica”; “A delimitação dos sapais deve atender às características morfológicas e bióticas presentes” (alínea e, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).
Ilhéus e rochedos emersos no mar	Correspondem às áreas emersas limitadas pela linha máxima de baixa-mar de águas vivas equinociais” (alínea f, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).
Dunas costeiras	“A área correspondente às dunas costeiras é delimitada, do lado do mar, pela base da duna embrionária, ou frontal, ou pela base da escarpa de erosão entalhada no cordão dunar, abrangendo as dunas frontais em formação, próximas do mar, as dunas frontais semiestabilizadas, localizadas mais para o interior, e outras dunas, estabilizadas pela vegetação ou móveis, cuja morfologia resulta da movimentação da própria duna” (alínea g, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).
Dunas fósseis	“São delimitadas, do lado do mar, pelo sopé do edifício dunar consolidado e, do lado de terra, pela linha de contacto com as restantes formações geológicas” (alínea g, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).
Arribas e respetivas faixas de proteção	“As faixas de proteção de arribas devem ser delimitadas a partir do rebordo superior, do lado de terra, e da base da arriba, para o lado do mar, tendo em consideração as suas características geológicas, a salvaguarda da estabilidade da arriba, as áreas mais suscetíveis a movimentos de massa de vertente, incluindo desabamentos ou queda de blocos, a prevenção de riscos e segurança de pessoas e bens e, ainda, o seu interesse cénico” (alínea h, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).
Faixa terrestre de proteção costeira	“A faixa terrestre de proteção costeira deve ser definida em situações de ausência de dunas costeiras ou de arribas.”; “Na delimitação da faixa terrestre costeira deve considerar-se a faixa onde se inclui a margem do mar, medida a partir da linha que limita o leito das águas do mar para o interior, com a largura adequada à proteção eficaz da zona costeira e à prevenção de inundações e galgamentos costeiros, a definir com base em informação topográfica, meteorológica e oceanográfica” (alínea i, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).
Águas de transição	“São delimitadas, a montante, pelo local até onde se verifique a influência da propagação física da maré salina e, a jusante, por critérios geomorfológicos, que incluem os alinhamentos de cabos, promontórios, restingas e ilhas-barreira, incluindo os seus prolongamentos artificiais por obras marítimo-portuárias ou de proteção costeiras, que definem as fozes ou barras destas águas, no caso dos estuários e das lagunas com ligação permanente ao mar, ou pelo limite interior das barreiras soldadas, no caso das lagunas com ligação efémera ao mar” (alínea j, Secção I, Anexo I, do DL n.º 239/2012).

Para a delimitação das tipologias presentes na REN, cada uma tem por base diversos critérios de delimitação definidos na LMPMAVE (Quadro 1.3.).

Quadro 1.3

Critérios do traçado da LMPMAVE nas diferentes tipologias

Tipologia	Critérios de delimitação
Praias	a) “Em praias suportadas por dunas, a LMPMAVE coincide com a base da duna; b) Em praias suportadas por arribas alcantiladas, a LMPMAVE coincide com a base da arriba, sendo a margem de 50m contados a partir da crista da arriba; c) Em barreiras arenosas acumuladas nas fozes de estuários temporários ou lagoas costeiras, a LMPMAVE coincide com a base da duna; d) Em troços onde os edifícios dunares foram total ou parcialmente destruídos, a reconstituição da LMPMAVE deve orientar-se pelo alinhamento dos cordões dunares contíguos; e) Para praias naturais, a LMPMAVE extingue-se com a natureza da praia, sendo que os limites da margem devem ser marcados distando 50m daquela linha” (Despacho n.º 12/2010)
Arribas	Em arribas a LMPMAVE coincide com a base da arriba. (Despacho n.º 12/2010).
Ambientes confinados	“Lagunas, estuários e lagoas costeiras, o traçado na LMPMAVE deve ser feito caso a caso, conjugando a informação altimétrica, a cartografia das biocenoses das plantas halófitas e a informação recolhida no terreno. Nas imediações das barras e embocaduras das lagunas e estuários permanentes, assim como nos estuários temporários e nas lagoas costeiras, deve considerar-se, no que respeita à altimetria, a linha da máxima preia-mar registada ao largo” (Despacho n.º 12/2010).
Áreas sujeitas a intervenção humana	a) “Em alimentações artificiais de praia de curta longevidade, deve se tomada como referência a morfologia existente anteriormente à recarga da praia; b) Em intervenções mais duradouras (ex. marinas, portos de pesca e alimentações artificiais de longa duração), a marcação da margem deverá considerar os limites definidos pelas intervenções; c) Em estruturas de contenção de arribas que não introduzem alterações nos limites da margem, deve ser considerada a crista da arriba como referencial para demarcação do limite da margem; d) Em obras de reperfilamento que visam minorar o risco associado à geodinâmica das arribas, o limite da margem deve ser marcado a partir da crista do novo alcantil; e) Em intervenções de proteção costeira que contêm muros de suporte conjugados com a construção de aterros mais ou menos extensos na base da arriba, deve ser avaliado se o muro de suporte é suficiente para impedir o ataque direto da agitação marítima ou se, pelo contrário, as ondas galgam a estrutura de suporte em situações de tempestades e continuam a incidir nas arribas, sendo que a margem permanece inalterada no primeiro caso, enquanto no segundo a margem é contada a partir da LMPMAVE, considerando a base do muro do suporte” (Despacho n.º 12/2010).

Relativamente ao sistema litoral serão utilizados vários conceitos, estando estes relacionados com as *Bases para a Estratégia da Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional* (Veloso-Gomes *et al*, 2007). Assim:

- o litoral define-se como todo o território que sofre alterações por ação, direta ou indireta, do mar;
- a zona costeira, ao contrário do litoral, caracteriza-se também pela influência do vento, das ondas e marés, salinidade e outros fenómenos biofísicos. A sua extensão, para o lado de terra, pode conter vários quilómetros e para o lado do mar, até ao limite da plataforma continental;
- a orla costeira é a parcela de território que sofre ação direta pelo mar auxiliado pelo vento. A sua extensão, para o lado de terra, pode conter vários metros;

Apesar do termo faixa costeira não se encontrar definido no documento acima exposto, o mesmo é definido pelo regime de gestão urbanístico do litoral (Decreto-Lei nº302/90) como a “área delimitada entre a linha máxima de preia-mar pelas águas vivas equinociais e 2 km daquela para o interior” (Santos *et al.*, 2014).

1.1.1. Os sistemas litorais de ablação

Os sistemas litorais de erosão estão marcados pela escassez de sedimentos, cujas principais formas associadas são as arribas e as plataformas rochosas de sopé. Estas caracterizam-se de forma distinta. As primeiras têm um forte declive, localizam-se em frente ao mar e evoluem, no setor cimeiro, por processos subaéreos, frequentemente condicionados pela instabilização da sua base provocada pela ação direta da ondulação ou por processos (físicos, químicos e/ou biológicos) ligados à presença da água do mar (Neves, 2004). Por outro lado, a plataforma rochosa de sopé caracteriza-se por ser uma superfície rochosa com fraco declive, situada na base da arriba, sendo condicionada pela ação direta da ondulação ou por processos (físicos, químicos e/ou biológicos) ligados à presença do mar (Ramos-Pereira *in* Neves, 2004).

O recuo das arribas é dominado por movimentos de massa e por erosão hídrica. Estes processos constituem-se, assim, numa fonte natural de perigo, podendo interferir significativamente com a ocupação humana (Marques, 2009; Veloso-Gomes *et al.*, 2007).

A erosão hídrica é condicionada principalmente pela precipitação, mas também pela circulação de água, a qual degrada, erode e transporta os sedimentos resultantes da meteorização para a rede hidrográfica.

A ocorrência de movimentos de massa é principalmente condicionada pela litologia, pela estrutura geológica, pelas propriedades geotécnicas do material que constitui a arriba (Sunamura, 1992), pela morfometria das arribas (onde se inclui o comando, o declive, a curvatura) e pela exposição, que constituem os seus fatores de predisposição (Epifânio, 2013).

Na dinâmica de arriba estão englobados os fatores condicionantes e os desencadeantes. Os fatores condicionantes caracterizam-se por ser os fatores que preparam a ocorrência de movimentos, como anteriormente referidos. Os fatores desencadeantes são aqueles que os desencadeiam, e são estes, a ondulação, principalmente em períodos de temporal, as precipitações intensas ou prolongadas, os sismos e as ações antrópicas, onde o aumento das construções nos topos das arribas aumenta a sua carga.

Assim, os fatores condicionantes da dinâmica de arribas são:

Quadro 1.4

Fatores condicionantes da dinâmica de arribas

Fatores Condicionantes				
Litologia e estrutura geológica	Exposição	Ocupação do solo	Morfometria das arribas	Propriedades geotécnicas

O principal fator desencadeante de recuos neste tipo de sistema é a ondulação, estando estes condicionados pela sua litologia, permitindo a existência de sedimentos soltos capazes de serem mobilizados pela ondulação e exercer um papel abrasivo na base da arriba (Neves, 2004).

Um exemplo pontual em abril de 2004, ocorrido na arriba do Gronho, registou um recuo máximo de 5,4 m/ano. Neste evento destaca-se sobretudo o facto de ter sido atingido o setor da arriba localizado sobre a sapa mais aprofundada, sapa E, onde a morfometria da base da arriba é considerada outro elemento essencial na identificação dos setores com maior instabilidade (Neves, 2004; Neves, 2008).

1.1.2. Os sistemas litorais de acreção

Os sistemas litorais de acumulação de sedimentos, como a praia, caracterizam-se pela acumulação de sedimentos da dimensão da areia aos blocos cuja mobilidade depende de vários agentes forçadores, como a ação das ondas e do seu ângulo de incidência na linha de costa, estando estes associados à variação do nível do mar, aos parâmetros morfológicos (declive e a micromorfologia da praia) e aos parâmetros sedimentológicos (o calibre dos sedimentos) (Ramos-Pereira, 2008b).

A tendência evolutiva da dinâmica de praia pode ser de erosão, estabilidade ou de acumulação de sedimentos. Tendo em conta a definição de praia referida anteriormente (Quadro 1.2), a praia pode recuar em situações de temporal marítimo, como sucedeu nos sistemas ilhas-barreiras (Península de Ancão, Ria Formosa, Algarve, Portugal), onde a linha de costa, no período entre 1989 e 2001, teve uma taxa de recuo médio de 0,26 m/ano (Ferreira *et al*, 2006).

Num outro estudo (Alvor, Algarve) desenvolvido na sequência de um fenómeno extremo de Levante, numa faixa com 200 m de largura, o volume de sedimentos perdidos foi cerca de 84,84 m³/m, num volume total estimado em 16 968 m³, o que provocou um recuo da linha de costa de mais de 100 m e consequentemente uma diminuição da largura e volume da praia (Ramos-Pereira e Trindade, 2011).

Assim, o primeiro exemplo demonstra que os sistemas arenosos podem estar em recuo ao longo de todo o ano e o segundo exemplo ilustra uma ocorrência episódica extrema. Por isso, constata-se que o clima de agitação marítima constitui-se como um fator fundamental na diminuição das praias.

A crescente ocupação antrópica nas zonas marginais dos estuários tem levado, em alguns casos, à eliminação de praias naturais e assim, à criação de praias artificiais. A crescente procura deste tipo de sistema está diretamente relacionado ao seu elevado potencial para atividades de lazer.

Nos sistemas rochosos litorais expostos existem também formas sedimentares de acumulação, de dimensão restrita, como é o caso das praias encastradas e as praias estuarinas. As primeiras caracterizam-se por serem praias de pequena extensão, encaixadas entre dois promontórios rochosos e com uma forma aproximadamente circular. Estas praias devem-se à sedimentação marinha decorrente da perda de energia da ondulação, por difração nas saliências rochosas encaixantes. Constituem, por isso, um sistema de acumulação num troço litoral com déficit de sedimentos. Aliás, nestes setores, o calibre dos sedimentos é reduzido, daí a plataforma rochosa de sopé que lhes está subjacente ficar visível, na ocorrência de temporais ou na modificação temporária das correntes litorais (Neves, 2004).

Os sistemas de praia-planície aluvial são caracterizados por terem, maioritariamente, uma dinâmica marinha superior à dinâmica fluvial. Estas dinâmicas são variáveis ao longo do ano porque dependem da amplitude da maré, do vento ou das alterações da linha de costa provocadas pelas ações antrópicas. As praias estuarinas surgem na zona de embocadura, contendo uma elevada dinâmica e vulnerabilidade, principalmente quando ocorrem episódios de precipitação intensa e concentrada em que as águas fluviais contactam com o mar. A sua evolução depende, a médio e a longo prazo, dos eventos de baixa frequência (Carter, 1988; Freire *et al*, 2006; Neves, 2006; Veloso-Gomes *et al*, 2007).

Os sistemas dunares também se encontram abrangidos nos sistemas de acumulação e caracterizam-se por formas de acumulação de areias de praia transportadas e acumuladas pelo vento.

As dunas são consideradas como fitogénicas, uma vez que a ação da vegetação é fundamental para o seu desenvolvimento, mais concretamente, os sistemas dunares resultam da ação combinada da vegetação, da areia, do vento e do substrato (Cruz, 2009).

As diversas formas dunares estão relacionadas com a disponibilidade de sedimentos na praia e da sua estabilidade, com a dominância do vento e com o afastamento à linha de costa e estas podem adquirir diversas formas: dunas em cauda de cometa, domas, duna frontal, dunas transversais, dunas parabólicas, dunas longitudinais e *blowouts* (Ramos-Pereira, 2008b).

1.2. Resiliência dos sistemas litorais

Holling , em 1973 usou o termo resiliência ambiental, no contexto da ecologia, para descrever a medida da persistência dos sistemas e a sua capacidade de absorver a mudança e a perturbação e ainda manter as mesmas relações entre as populações ou as variáveis de estado (Cutter *et al*, 2008).

O projeto Eurosion (2006) definiu resiliência costeira como a capacidade dos sistemas litorais em adaptar-se às mudanças relacionadas com a subida do nível do mar, aos eventos extremos (temporais) e, esporadicamente, às influências antrópicas, mantendo as suas funções a longo prazo. Neste contexto, a capacidade de resiliência considera-se ultrapassada quando um sistema contém marcas de degradação, o que indica que o mesmo é incapaz de se autorregenerar (Ramos-Pereira *et al*, 2002).

As intervenções humanas, diretas e indiretas, nos sistemas biofísicos costeiros e estuarinos, constituem uma ameaça, e consequentemente, estes sistemas tornam-se mais vulneráveis à ação dos agentes naturais e dos resultantes das ações humanas. A erosão costeira que provoca o recuo da linha de costa, a migração de embocaduras, o assoreamento de estuários e de lagunas e as alterações da qualidade ambiental, são alguns dos exemplos de fenómenos associados à morfodinâmica destes sistemas costeiros, gerando impactos socioeconómicos quando registadas ocorrências com elevada frequência. Em muitos casos, devido aos fenómenos referidos, a resiliência dos sistemas é largamente ultrapassada, com prejuízos elevados (Alveirinho Dias *et al*, 2011).

A resiliência depende do tipo de sistema como é referido no projeto Eurosion (2006). Os sistemas de arribas caracterizam-se por serem menos resilientes. A erosão neste tipo de sistema classifica-se como um fenómeno natural que contribuiu para a fonte sedimentar. Por sua vez, esta fonte sedimentar aumenta a largura das praias, protegendo as arribas da ação direta da ondulação. Quando a conjugação destes fatores é mantida e o balanço sedimentar é positivo ou pelo menos nulo, a resiliência costeira mantém-se.

O balanço sedimentar é um fator condicionante à resiliência costeira. A condição favorável de balanço sedimentar ocorre quando:

- a) O volume de sedimentos e a sua distribuição se relaciona com a situação anterior à sua perda devido às ações antrópicas, principalmente:
- os volumes introduzidos no sistema pelas fontes fluviais;
 - a corrente de deriva litoral;
 - as trocas de sedimentos transversalmente à linha de costa.
- b) As características dos sedimentos dependem da textura geológica, da vegetação ou da flexibilidade natural de compensar as perdas quando exposta a um fenómeno erosivo.

De acordo com Eurosion (2006), foram considerados dois fatores essenciais de modo a identificar se uma área costeira é resiliente ou não:

- Quando um local contém o volume de sedimentos suficiente para garantir o equilíbrio dinâmico entre a erosão e a acreção e, consequentemente, conseguir um balanço sedimentar positivo. No caso de ocorrerem perdas consideráveis de sedimentos resultará num desequilíbrio entre a erosão e a acreção e, por conseguinte, à perda de habitats e ao recuo da linha de costa.
- Quando existe espaço livre para que os processos costeiros se desenvolvam genuinamente. A resiliência costeira diminuirá com as restrições impostas ao espaço disponível para ajustar o recuo das arribas, e assim, os habitats e/ou a reorganização de sedimentos.

Nos sistemas dunares, considerando o exemplo do estudo efetuado por Ramos Pereira *et al* (2002), o balanço sedimentar negativo surge devido ao défice de areias de praia e/ou por destruição da vegetação dunar, o que poderá levar à destruição da duna frontal, tornando-a muito resiliente. Nestes estudos, os autores utilizam uma *checklist* para ambos os locais, onde pretendem classificar vulnerabilidades a partir da resiliência dos sistemas dunares presentes. A mesma permite estabelecer o nível de pressão que cada uso exerce sobre o sistema, relacionando-o com o limiar de resiliência, identificar as componentes do sistema mais vulneráveis e indicar os ajustamentos necessários, com o objetivo de prevenir ou minimizar os efeitos da pressão (Laranjeira, 1997 *in* Ramos-Pereira *et al*, 2002; Paixão, 2011). Assim, com o intuito de avaliar a sensibilidade e a resiliência da duna frontal, foram consideradas as seguintes vulnerabilidades biofísicas: erosão dunar; alimentação em areia; fixação das areias pela vegetação; pressão de uso; ordenamento e gestão (Ramos-Pereira *et al*, 2002; Paixão, 2011).

Nos sistemas de ilhas-barreira, a resiliência ou a habilidade para voltar ao seu estado de equilíbrio é dependente da taxa de recuperação da duna após uma tempestade. Essa taxa é

dependente da transferência de sedimentos da zona costeira para a praia que pode ocorrer por migração longitudinal das barras e, conseqüentemente, a acumulação de areias na extremidade de uma das ilhas e erosão da extremidade da ilha seguinte ou por migração transversal do sistema em direção ao continente, na qual se inclui o transporte eólico de areias. Apesar dos vários fatores que condicionam a sua recuperação, esta também se encontra relacionada com a duração e com a magnitude da tempestade (Houser *et al.*, 2014).

1.3. Perigosidade e Vulnerabilidade

Segundo Varnes (1984) a perigosidade designa-se como a probabilidade de ocorrência, para um período de tempo específico e para uma área específica de um potencial fenómeno perigoso. Julião *et al.* (2009) define suscetibilidade como sendo a ocorrência espacial do perigo. Esta indica o quanto uma área pode ser afetada por um determinado perigo, durante um período de tempo desconhecido, sendo que a sua avaliação é realizada com base nos fatores condicionantes e não incorpora um período de retorno.

Tal como acima mencionado, os perigos que se podem encontrar no litoral estão diretamente relacionados com movimentos de massa, desabamentos, deslizamentos e escoadas, erosão hídrica, nas arribas, e temporais que causam galgamentos oceânicos, inundações e erosão costeira.

Os perigos naturais em zonas costeiras estão incorporados no Decreto-Lei (DL) nº239/2012 de 2 de novembro, que procede à primeira alteração ao DL nº166/2008 de 22 de agosto, que estabelece a REN e aí são designados riscos naturais. Na REN as áreas de prevenção de riscos naturais engloba: (i) zonas ameaçadas pelo mar, já evidenciado no quadro 1.1; (ii) áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo; (iii) áreas de instabilidade de vertentes.

Nesta legislação, as áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo encontram-se definidas pelas “áreas que, devido às suas características de solo e de declive, estão sujeitas à perda excessiva de solo por ação do escoamento superficial. A sua delimitação deve considerar, de forma ponderada para a bacia hidrográfica, a erosividade da precipitação, a erodibilidade média dos solos, a topografia, o uso do solo e a ocupação humana. Em áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo podem ser realizados os usos e as ações que não coloquem em causa, cumulativamente, as seguintes funções: i) Conservação do recurso solo; ii) Manutenção do equilíbrio dos processos morfogenéticos e pedogenéticos; iii) Regulação do ciclo hidrológico através da promoção da infiltração em detrimento do escoamento superficial; iv) Redução da perda de solo, diminuindo a colmatação dos solos a jusante e o assoreamento das massas de água”.

Também nesta legislação, as áreas de instabilidade de vertentes designam-se pelas “áreas que, devido às suas características de solo e subsolo, declive, dimensão e forma da vertente ou escarpa e condições hidrogeológicas, estão sujeitas à ocorrência de movimentos de massa em vertentes, incluindo os deslizamentos, desabamentos e a queda de blocos. Na sua delimitação devem considerar-se as suas características geológicas, geomorfológicas e climáticas. Em áreas de instabilidade de vertente podem ser realizados os usos e as ações que não coloquem em causa, cumulativamente, as seguintes funções: i) Estabilidade dos sistemas biofísicos; ii) Salvaguarda face a fenómenos de instabilidade e de risco de ocorrência de movimentos de massa em vertentes e de perda de solo; iii) Prevenção e redução do risco, garantindo a segurança de pessoas e bens”.

Num estudo de movimentos de massa em litorais rochosos de Teixeira (2006), os perigos existentes no Barlavento Algarvio, Portugal, resultaram principalmente da queda de blocos em Lagos, em junho de 1997 e em 22 de maio de 1998. Existiu um outro evento, referido no mesmo estudo, em 7 de outubro de 2000, onde quatro casas que se encontravam no topo da arriba sofreram danos parciais devido ao colapso de uma arriba e a queda de blocos destruiu um restaurante e várias instalações que se encontravam na praia.

Num outro estudo de Nunes *et al* (2009), os perigos nos litorais rochosos, classificados por perigos elevados e muitos elevados, na área de estudo entre a Galé e os Olhos de Água, Algarve, Portugal, estão associados à direção da ondulação, sendo esta maioritariamente de W-E e pela litologia das arribas, calcarenitos. O índice de perigo proposto por estes autores engloba dois conjuntos de propriedades:

- A suscetibilidade dos fatores (a direção da ondulação, a exposição e a litologia das arribas).
- A proteção dos fatores (largura da proteção da praia e/ou os setores de ativação da plataforma costeira).

Os valores do primeiro grupo agregar-se-ão ao índice de perigo e os valores do segundo grupo serão subtraídos ao índice de perigo.

O conceito de vulnerabilidade varia de autor para autor, podendo ser definido e interpretado de diversas maneiras. Assim, segundo Varnes (1984), a vulnerabilidade é definida como grau de dano de um elemento ou um conjunto de elementos em risco, resultante da ocorrência de um fenómeno com determinada magnitude ou intensidade, expresso numa escala entre 0 (sem danos) a 1 (perda total do elemento vulnerável) ou na percentagem do valor da reconstrução no caso dos dados em bens (Buckle *et al*, 2000).

Nas arribas, a vulnerabilidade de cada um dos elementos expostos depende das suas características e também das propriedades dinâmicas de cada um dos movimentos de massa, bem como das solicitações mecânicas que estes produzem (Hong *et al*, 1997 in Zêzere, 2005).

Assim, a avaliação rigorosa da vulnerabilidade envolve a articulação de dados relacionados com a perigosidade e com os elementos vulneráveis destacando-se os seguintes:

- características dinâmicas, mecânicas e geométricas do movimento de vertente;
- propriedades intrínsecas dos elementos (tipo, dimensão, construção e tipo de construção)
- capacidade da estrutura ou infraestrutura para resistir aos fenómenos perigosos (Zêzere, 2005).

Nas praias e nas suas zonas adjacentes, a sua dinâmica atual encontra-se em elevada vulnerabilidade, tanto pela perda de sedimentos, pela alteração dos perfis e espraamentos, bem como pelos galgamentos oceânicos, inundações (Velo-Gomes *et al*, 2007).

Ferreira *et al* (1997), com o intuito de avaliar a vulnerabilidade, na praia de Faro, tanto à erosão como aos galgamentos oceânicos, optaram uma metodologia que consistiu no cálculo dos “stocks” sedimentares, nas diferenças de volume para cada perfil para datas consecutivas e na variabilidade máxima existente entre perfis no que toca ao armazenamento volumétrico. Assim, concluíram quais às áreas com maior e menor vulnerabilidade.

1.4. Objetivos e estrutura da dissertação

O presente estudo surge no contexto em que o concelho de Mafra foi nos últimos anos densamente povoado no litoral, o que provoca várias situações de instabilidade nomeadamente nas arribas. Para além disso, as diversas modificações antrópicas ao longo da costa, com a construção de muros e paredões, parques de estacionamento, esporões e estruturas de apoio tem provocado diferenças na morfologia das praias. Assim, estes sistemas encontram-se sujeitos a fortes e complexas dinâmicas naturais e antropogénicas.

Por isso, os objetivos desta dissertação são:

- **Objetivo Geral:** Análise da evolução dos sistemas litorais e definição de faixas costeiras de salvaguarda no concelho de Mafra
- **Objetivos Específicos:**
 - Classificação dos sistemas litorais
 - Análise da evolução das arribas e das praias no troço costeiro no período de 1965 a 2010
 - Determinação das taxas de recuo
 - Construção e análise de faixas de salvaguarda
 - Projeções da posição do topo de arriba para 2020, 2030 e 2050

- Projeções da posição da linha de costa para 2020, 2030 e 2050
- Identificação dos elementos expostos em 2050

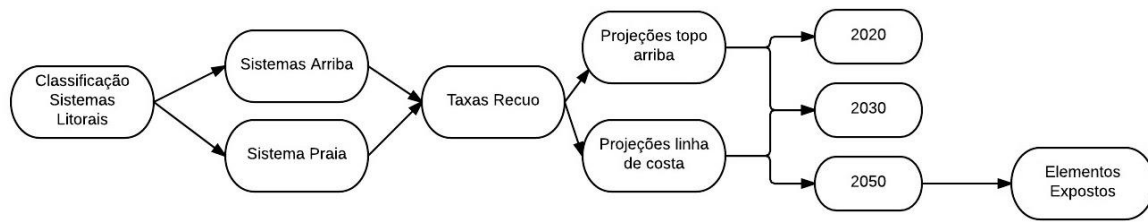


Figura 1.1: Modelo conceptual que relaciona os objetivos da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos e procuram responder aos objetivos citados anteriormente, seguido das considerações finais.

O capítulo I contextualiza a temática do litoral, aborda as tipologias de sistemas existentes, bem como as suas características e a sua resiliência, os perigos e a vulnerabilidade existentes no litoral. Segue-se a fundamentação da seleção da área de estudo, a enumeração dos objetivos e a organização da dissertação.

O capítulo II efetua uma abordagem geral às características físicas do concelho de Mafra, na qual se inclui o enquadramento geográfico, geológico e geomorfológico, a caracterização climática (temperatura e precipitação) e o clima de agitação marítima e a circulação de sedimentos na deriva litoral.

O capítulo III aborda as fontes de informação, as técnicas (*e.g.* georreferenciação das fotografias aéreas) e os métodos utilizados.

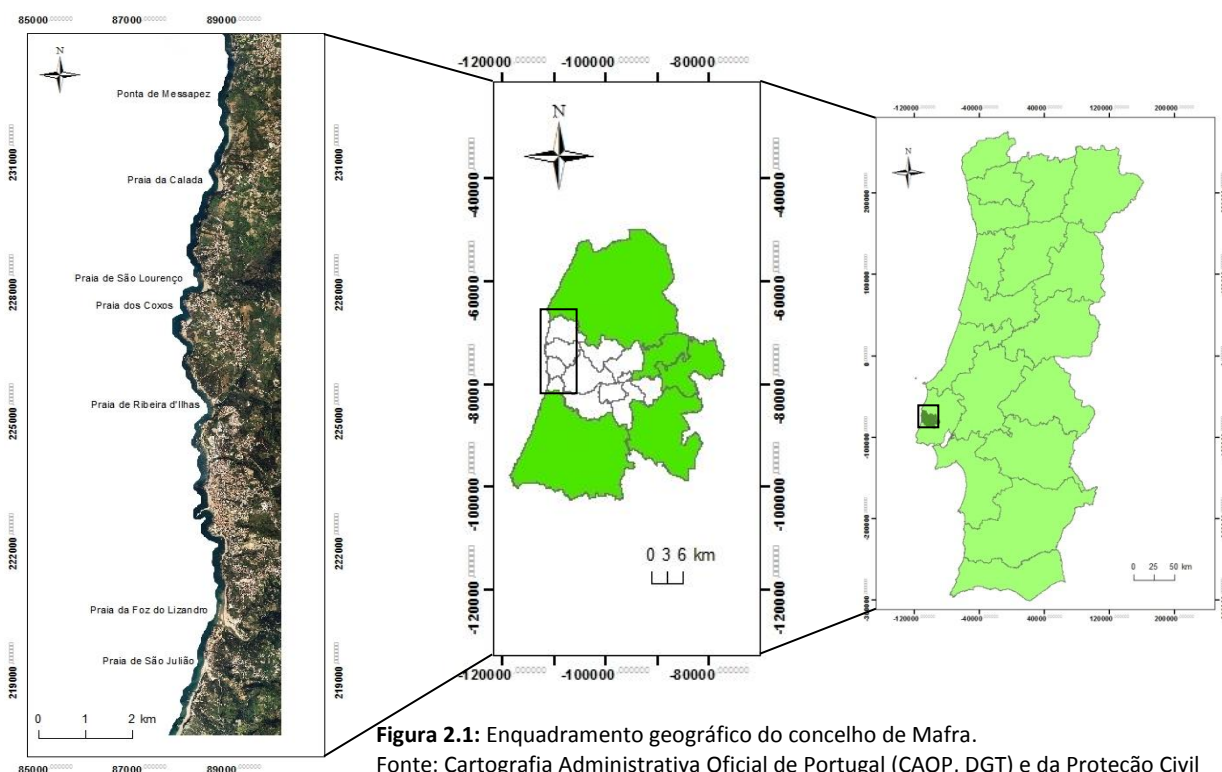
O capítulo IV incorpora a análise das taxas de variação tanto nos sistemas de arriba como nos sistemas praia no período de 1965-2010.

O capítulo V é dedicado à projeção das faixas de salvaguarda para os anos de 2020, 2030 e 2050, tanto nos sistemas de arribas, como nos sistemas de praia e a análise dos elementos expostos para o ano de 2050.

Capítulo II – Traços gerais da área de estudo

Este trabalho desenvolve-se no litoral do concelho de Mafra. Este concelho insere-se na Área Metropolitana de Lisboa e faz fronteira com os concelhos de Torres Vedras a Norte, de Sintra a Sul, Sobral de Monte Agraço, Arruda dos Vinhos e Loures a Este e a Oeste pelo Oceano Atlântico e tem uma área de cerca de 291,43 km². É formado por 17 freguesias: Azeira, Carvoeira, Cheleiros, Encarnação, Enxara do Bispo, Ericeira, Gradil, Igreja Nova, Mafra, Malveira, Milharado, Santo Estêvão das Galés, Santo Isidoro, S. Miguel de Alcainça, Sobral da Abelheira, Venda do Pinheiro e Vila Franca do Rosário. Dessas, apenas as freguesias de Carvoeira, Encarnação, Ericeira e Santo Isidoro pertencem ao litoral (Figura 2.1).

Este setor costeiro localiza-se entre Messapez a Norte e a Praia de São Julião a Sul, ao longo de aproximadamente de 17 km, com uma orientação norte-sul. A sua largura é definida de acordo com a zona marítima de proteção² e a zona terrestre de proteção³, presentes no POOC, podendo, neste trabalho, a sua largura não abranger toda a zona delimitada pela zona terrestre de proteção.



² “A zona marítima de proteção é a faixa compreendida entre a linha limite do leito das águas do mar e a batimétrica dos 30 m referenciada ao zero hidrográfico” (DL nº 132/2015 de 09 de julho).

³ “A zona terrestre de proteção é composta pela margem das águas do mar e por uma faixa, medida na horizontal, com uma largura de 500 m, contados a partir da linha que limita a margem das águas do mar, podendo ser ajustada por uma largura máxima de 1000 m quando se justifique acautelar a integração de sistemas biofísicos fundamentais no contexto territorial objeto do plano” (DL nº 132/2015 de 09 de julho).

2.1. O quadro geológico

O concelho de Mafra encontra-se geologicamente integrado na Orla Mesocenozóica Ocidental, uma das três unidades morfoestruturais que constituem o território português.

As rochas que constituem esta unidade formaram-se na Bacia Lusitaniana, da qual 2/3 aflora na área continental emersa e a restante, encontra-se imersa, na plataforma continental (Kullberg *et al*, 2006). Caracteriza-se por ser uma bacia distensiva, pertencente a uma margem continental do tipo atlântico de *rift* não vulcânico. A sua evolução tectónica encontra-se condicionada pela distensão mesozóica relacionada com a abertura do Atlântico Norte. A atividade da Ibéria, durante o Mesozóico, encontra-se relacionada com a evolução dos limites de placa. O primeiro encontra-se a sul, entre África e a Eurásia e é designado por limite transcorrente e estende-se ao longo da Zona de Falha de Açores-Gibraltar. O segundo encontra-se a oeste entre a Ibéria e a Terra Nova e é designado por limite divergente associado à evolução do Atlântico (Kullberg *et al*, 2006). A partir do início da fragmentação continental até à formação de crosta oceânica e assim, por consequência, até ao fim da Bacia Lusitaniana, ocorreram quatro episódios de *rifting* (Kullberg *et al*, 2006).

A área de estudo apresenta os sedimentos originados no terceiro (Cretácico Inferior e Jurássico Superior) e no quarto (Cretácico Inferior) episódio de *rifting* (Figura 2.2).

O terceiro episódio ocorre entre o Kimeridgiano e o Berriasiano Inferior, na qual se destaca:

- (i) A *Formação do Freixial*, localizada a Norte da praia da Calada, composta pela alternância de sedimentos siliciclásticos, margas e calcários. (Kullberg *et al*, 2006);
- (ii) A *Formação do Porto da Calada* que contém uma alternância de arenitos brancos, finos a médios, arenitos siltíticos, argilas lignitosas e dolomitos amarelos e calcários acinzentados (Kullberg *et al*, 2006).

O quarto episódio de *rifting* ocorre do Berriasiano ao Aptiano Superior. Os depósitos do Cretácico foram conservados entre Aveiro e o Rio Sado uma depressão tectónica paralela à costa atlântica, orientada NNE-SSW, marcada por acidentes de origem hercínica. O Cretácico Inferior foi identificado no setor meridional (ao norte do paralelo das Caldas da Rainha), em que a principal fonte de sedimentos clásticos provém do Maciço Antigo, a Este e do *horst* marginal granito-gnáissico da Berlenga, a Oeste (Rey, 2006).

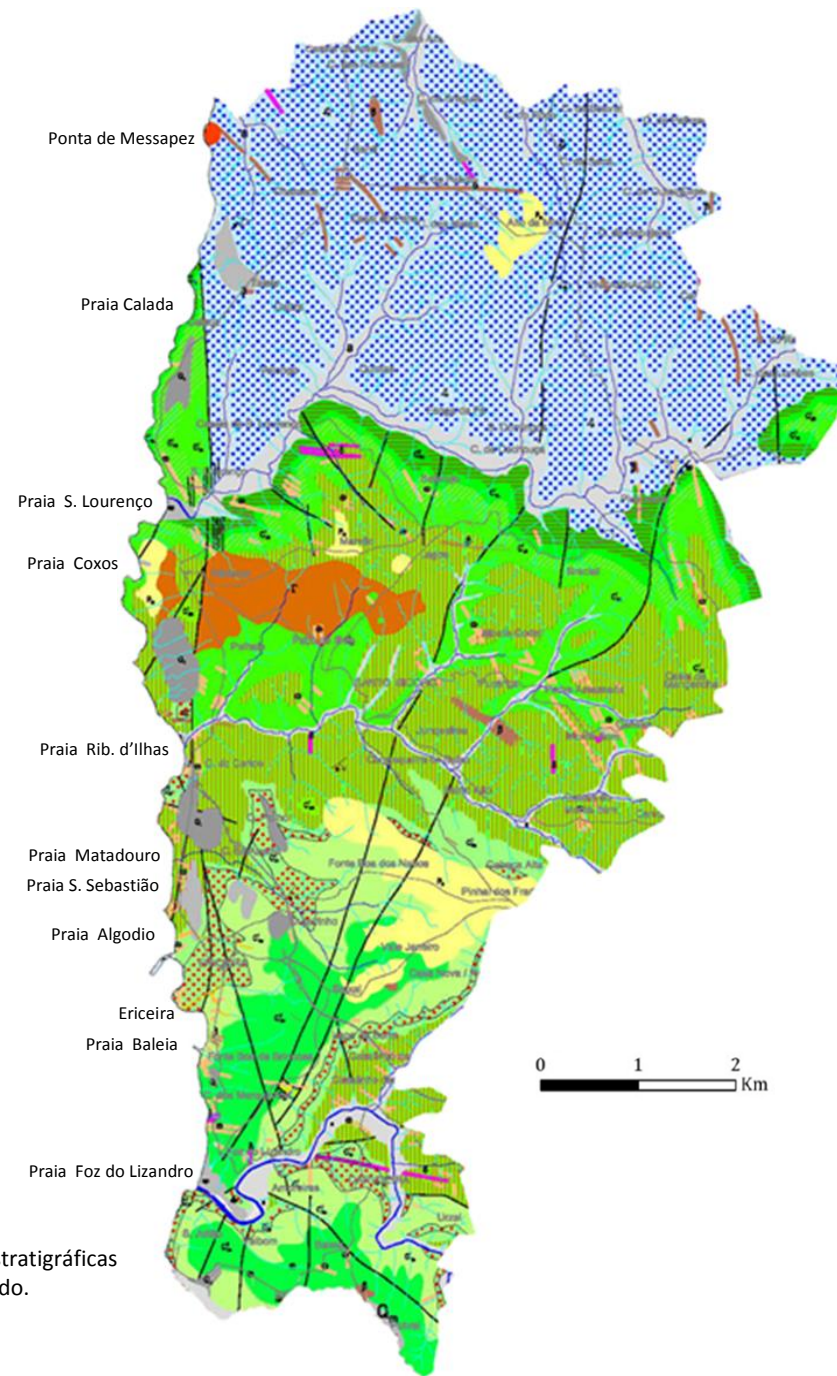


Figura 2.2: Representação das unidades litostratigráficas nas freguesias que englobam a área de estudo.
Adaptado de Costa *et al.*, 2005

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	IDADE	FORMAÇÃO
Cenozóico	Neogénico	Holocénico		<div>a</div> Aluviões e/ou aterros <div>ap</div> Areias de praias
		Plistocénico		<div>Q₁</div> Areias e cascalheiras de génese indiferenciada
		Pliocénico		<div>P_{sl}</div> Areias e Arenitos de Silveira
Mesozóico	Cretácico	Superior	Albiano Sup a Cenomaniano méd.	<div>C_{ca}²</div> Formação de Canegás: calcários, margas, arenitos e dolomitos
		Inferior	Aptiano sup a Albiano inf.	<div>C_{Ro}¹</div> Formação de Rodizio: pelitos, arenitos e conglomerados
			Aptiano sup a Aptiano inf.	<div>C_{ca}²</div> Formação de Cresmina: calcários e margas
			Barremiano sup.	<div>2</div> Formação de Regatão: arenitos, pelitos e dolomitos
			Barremiano inf a Hauteriviano	<div>C_{RR}¹</div> Formação de Ribamar e Ribeira d'Ilhas: calcários, arenitos e pelitos
			Hauteriviano	<div>C_{ca}¹</div> Formação de Praia dos Coxos: calcários e pelitos
			Hauteriviano a Valanginiano	<div>C_{ls}</div> Formação de Santa Susana e de São Lourenço: pelitos e arenitos
			Valanginiano	<div>C_{ls}¹</div> Formação de Vale de Lobos: arenitos, conglomerados e argilitos
			Berriasiano inf a Titoniano	<div>C_{ls}²</div> Formação do Porto da Calada: arenitos, pelitos, calcários e dolomitos
	Jurássico	Superior	Titoniano	<div>C_{ls}²</div> Formação de Freixial: arenitos, margas e calcários
<div>ΓΔ</div> Filões de gabro-diorito <div>δ</div> Filões de dolerito <div>τ</div> Filões de traquito <div>β</div> Filões de basalto <div>ω</div> Filões de rocha alterada e/ou não identificada <div>bv</div> Brecha vulcânica <div>—</div> Falhas				

A região da Ericeira é uma das unidades litostratigráficas deste quarto episódio. É caracterizada por alternância de calcários de fáceis marinha e dolomitos, onde se distinguem dez formações (Figura 2.2), das quais nove estão presentes no litoral do concelho de Mafra, com cerca de 250 m de espessura no intervalo entre o Berriasiano e o Aptiano. A região a Norte da Ericeira é, exclusivamente, caracterizada por sedimentos terrígenos, essencialmente fluviais com uma espessura de 160 m (Kullberg *et al*, 2006; Rey, 2006).

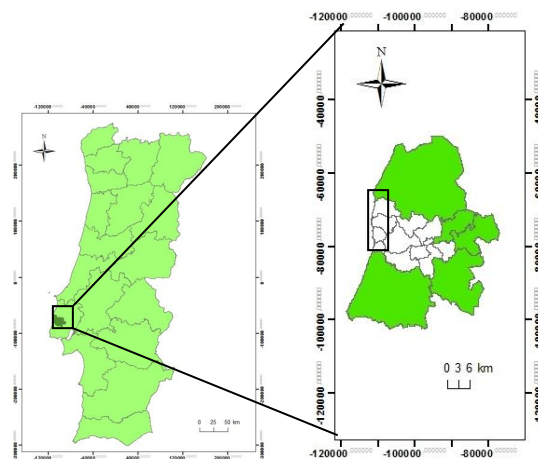
Observa-se a partir da figura 2.2, a diversidade litológica presente no litoral rochoso do concelho de Mafra composta por:

- arenitos, margas e calcários nas arribas a norte da Praia da Calada (Formação de Freixial);
- arenitos, conglomerados, argilitos e pelitos nas arribas entre a praia da Calada e as arribas a norte da praia de São Lourenço (Formação de Vale Lobos);
- pelitos e arenitos nas arribas a sul da praia de São Lourenço (Formação de Santa Susana e de São Lourenço);
- calcários e pelitos nas arribas na praia dos Coxos (Formação de Praia dos Coxos);
- calcários, arenitos e pelitos nas arribas a sul da praia dos Coxos e da praia de Ribeira d'Ilhas (Formação de Ribamar e Ribeira d'Ilhas);
- calcários e margas nas arribas da praia da Empa e da Ericeira (Formação de Cresmina);
- calcários, arenitos, pelitos e filões de traquito nas arribas desde a praia do Matadouro até à praia do Algodio (Formação de Ribamar e Ribeira d'Ilhas);
- arenitos, pelitos e dolomitos nas arribas da praia do Peixe (Formação Regatão);
- pelitos, arenitos e conglomerados nas arribas da praia da Baleia (Formação de Rodízio);
- calcários, margas, arenitos e dolomitos nas arribas desde o sul da praia da Baleia até à praia da foz do Lizandro (Formação de Caneças);
- calcários e margas nas arribas da praia de S. Julião (Formação de Cresmina).

A sucessão estratigráfica, na região da Ericeira, é bem visível nas arribas viradas para o Oceano Atlântico entre a Ericeira e São Lourenço (fotografias da figura 2.3), onde as camadas, segundo Rey (2006) e Freire (1986), são sub-horizontais ou com muito fraco declive em direção a Sul.

Quanto à estrutura tectónica, as cartas geológicas 34A e 30C, à escala 1:50 000 (1993 e 1955, respetivamente) e a carta neotectónica de Portugal Continental, à escala 1:1 000 000 (Cabral e

Ribeiro, 1988) apenas identificam as falhas assinaladas na figura 2.3. Segundo Ribeiro *et al.* (1979 *in* Neves, 2006), esta família de falhas corresponde a um rejogo pós-hercínico da rede de fraturas tardi-hercínicas, sendo esta uma família com orientação NNE-SSW. A orientação NNE-SSW corresponde aos principais alinhamentos diapíricos, ao estilo tectónico característico das orlas e, também à direção do contato, por cavalgamento, do Mesozóico, sobre a bacia terciária do Tejo-Sado (APA, 2011). Zbyszewski *et al.* (1955), refere que paralelamente ao litoral, entre a Ericeira e Ribamar, existem zonas de fratura de orientação geral N-S.



Legenda:

┐ > de 45°

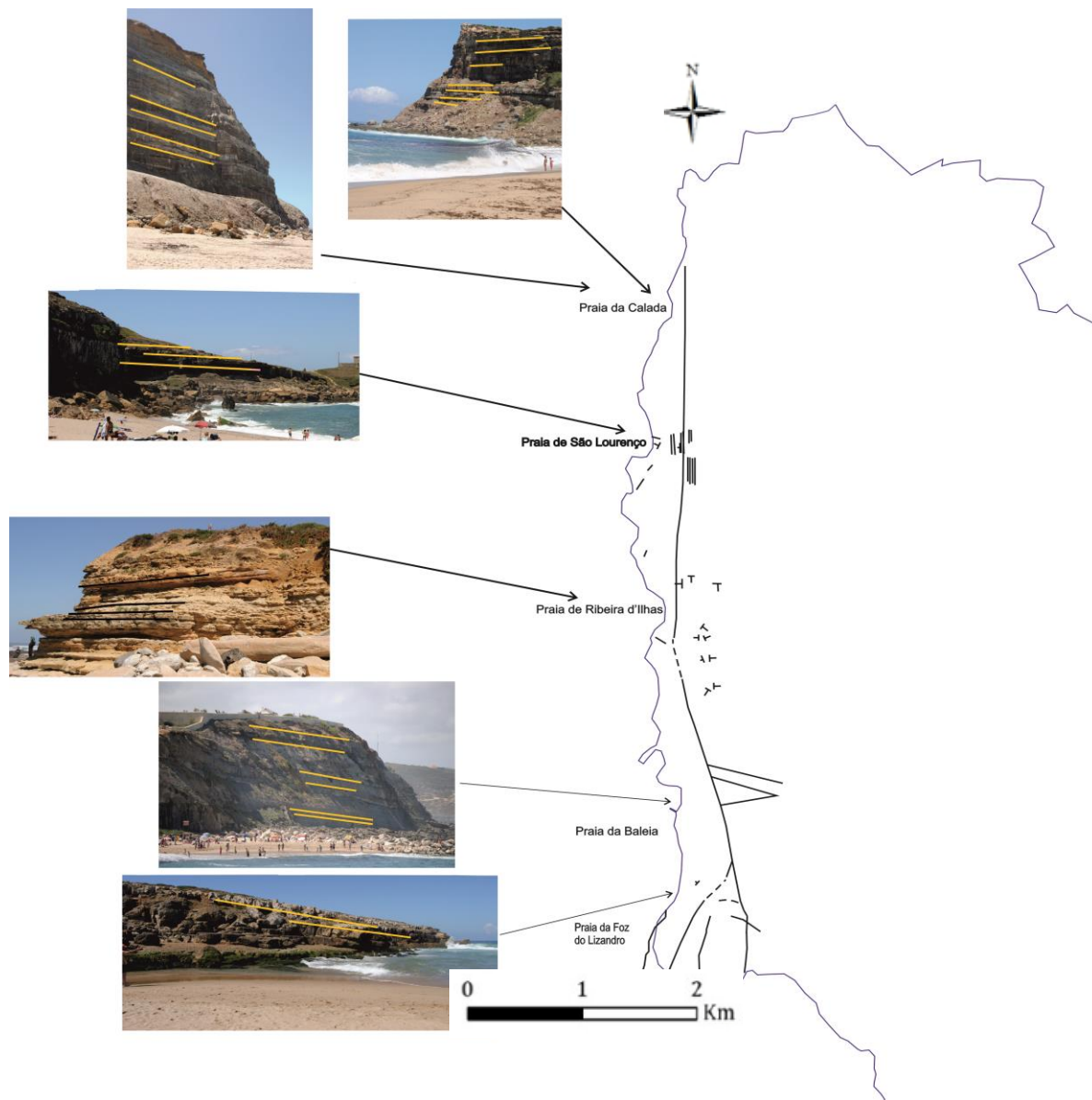
┐ ≤ de 45°

— Falha

- - - Falha provável

— Plano de estratificação

Figura 2.3: Representação das famílias de falhas, inclinação e direção das camadas e planos de estratificação nas arribas. Baseado nos mapas geológicos 30C e 34 A e Neves (2006)



2.2. Enquadramento geomorfológico

A plataforma litoral da Ericeira eleva-se a um nível superior a 200 m, embora os seus depósitos estejam apenas conservados até à povoação do Sobreiro (190-200 m). A superfície mais geral desenvolve-se entre 100 m e 120 m retalhada pela rede hidrográfica (Dias, 1980).

A sua “rede hidrográfica é constituída por pequenos cursos de água não ultrapassando geralmente os 10 a 15 km de comprimento, que tem o seu início nos níveis mais altos da plataforma, cortando-as, em seguida com uma orientação geral SE-NW” (Dias, 1980). Alguns troços são condicionados outras orientações (N-S ou E-W) (Dias, 1980)

Na linha de costa pode-se encontrar arribas vivas ou praias encastradas ou estuarinas. Observando a figura 2.4, constata-se que o comando das arribas desde a praia da Calada à praia da Foz do Lizandro é variável ao longo da costa. A partir da análise dos perfis realizados com base na cartografia topográfica com uma equidistância de curvas nível de 10 m, na praia da Calada constata-se os valores mais elevados, na qual a arriba a sul dessa praia, contém um comando de 90 m. A arriba a sul da praia de São Lourenço apresenta um comando de 60 m, bem como a da praia dos Coxos. Na praia de Ribeira d’Ilhas, a arriba a sul contém um comando de 80 m. A praia de São Sebastião é a que exhibe valores mais baixos, onde as arribas apresentam um comando de 40 m. A praia da Baleia exhibe arriba com um comando de 70 m. Por último, na praia da Foz do Lizandro, a análise do comando da arriba apresentou uma orientação SW-NE com um comando de 60 m.

Os perfis das arribas (figura 2.4) dependem dos processos marinhos e subaéreos, em conjunto com a resistência das litologias e da sua estrutura tectónica (fendas, falhas, fracturas, descontinuidades e inclinação das camadas). As arribas da praia da Calada revelam a presença de uma camada mais resistente no topo e camadas brandas na base, mas também intercaladas com pequenas espessuras de camadas resistentes e mais erodidas (Emery and Kuhn, 1982). Observa-se o mesmo perfil de arriba na praia de São Lourenço, denunciando a ação marinha e subaérea da mesma intensidade. Na praia de Ribeira d’Ilhas, o perfil da arriba apresenta um predomínio de rocha resistente e demonstra que a ação marinha é mais intensa que a da subaérea (Emery and Kuhn, 1982). O perfil da arriba da praia de São Sebastião e da praia da Baleia, de litologia branda, denuncia estar sujeita a ação marinha e subaérea de igual intensidade (Emery and Kuhn, 1982). O perfil da praia da Foz do Lizandro mostra uma predominância de rocha branda sujeita mais aos agentes subaéreos do que os marinhos (Emery and Kuhn, 1982).

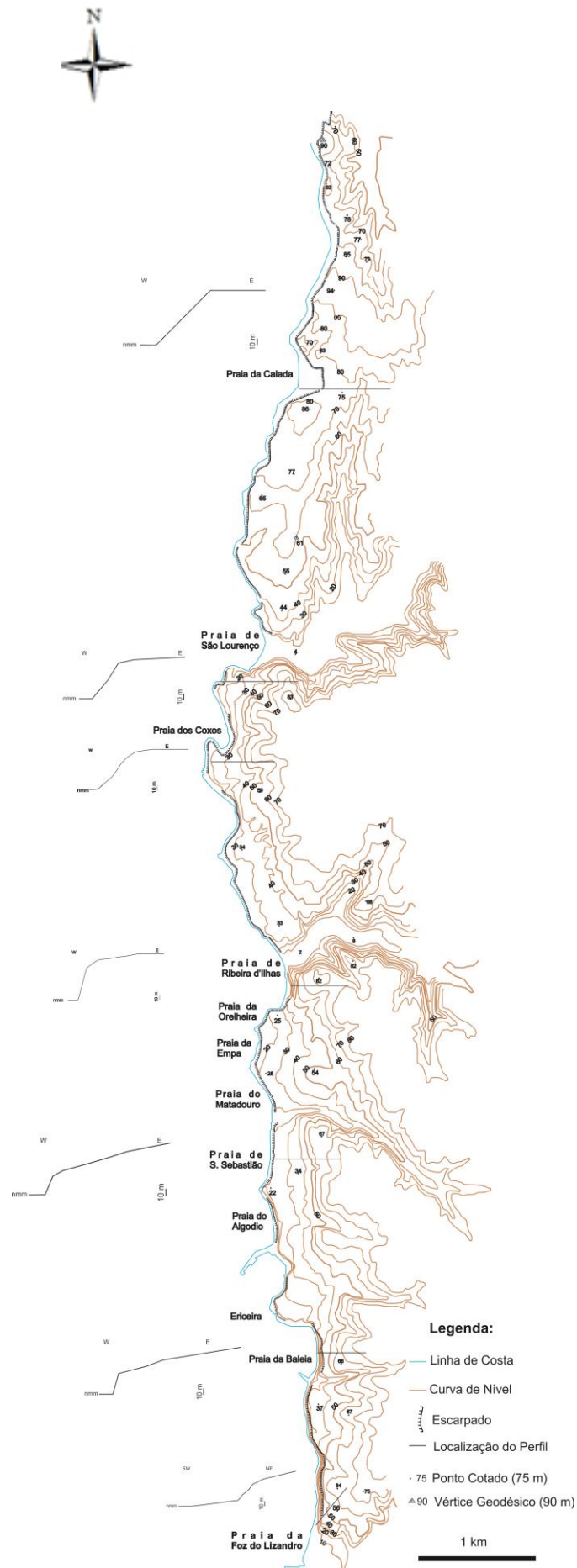


Figura 2.4: Representação das curvas de nível ao longo do litoral e dos perfis nas diversas praias

Os sistemas litorais presentes nesta área caracterizam-se por serem sistemas com arriba e sistemas com praia. Em seguida, referem-se os vários sistemas, de acordo com Neves (2006), tal como é demonstrado pela figura 2.5.

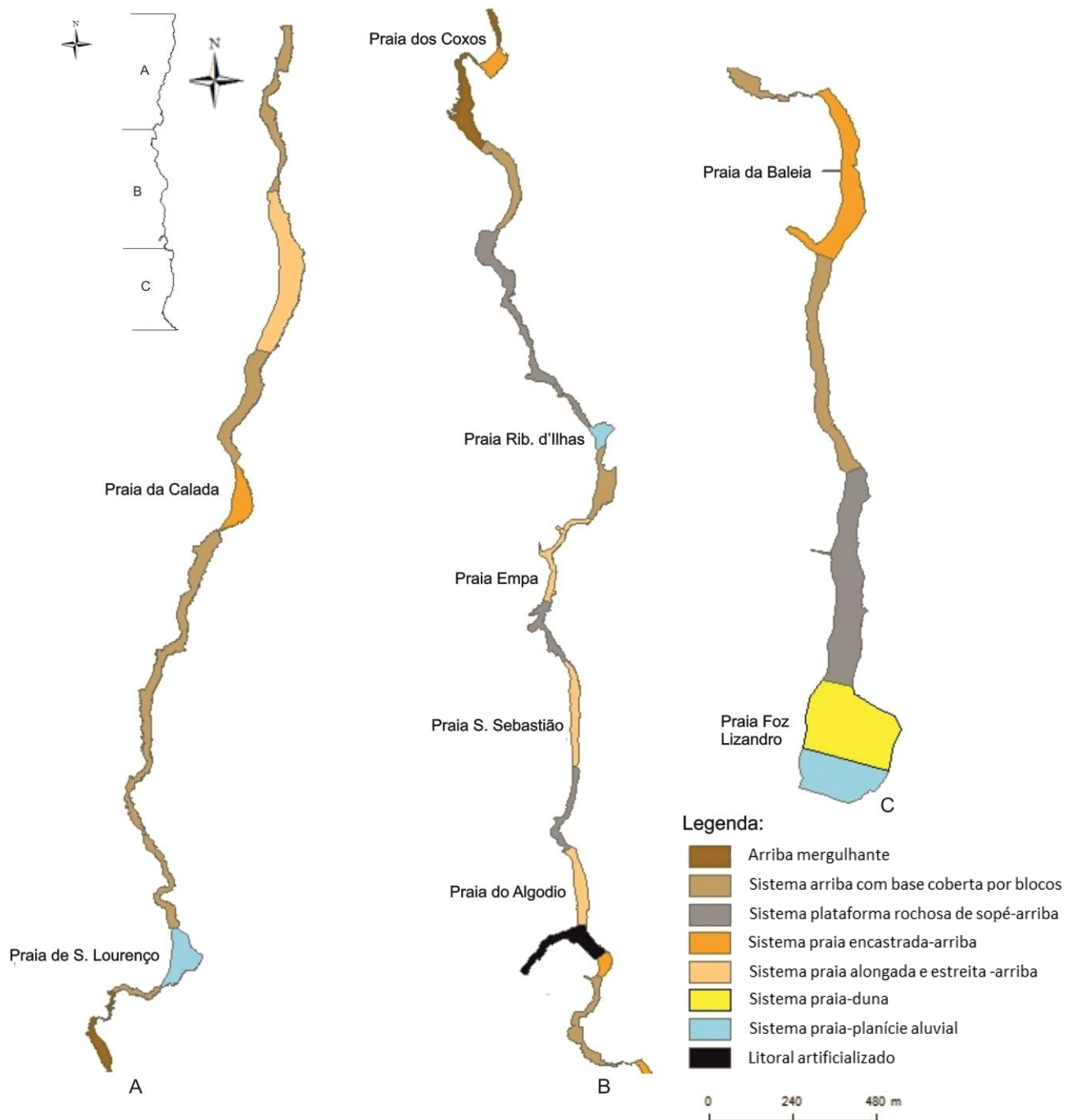


Figura 2.5: Representação dos sistemas litorais na área de estudo

- **Arriba mergulhante:** Define-se como arriba mergulhante sempre que a base desta se encontre constantemente submersa. Esta tipologia observa-se junto à Praia dos Coxos (Figura 2.6). As arribas desta praia são compostas por calcários e pelitos.



Figura 2.6: Setores de arriba mergulhante junto à praia dos Coxos, arriba sul. Fotografia de 11 de janeiro de 2014 e orientada de S-N

- **Sistema arriba com base coberta por blocos:** Observa-se a sul da praia de Ribeira d'Ilhas. As arribas a sul desta praia são compostas por margas, calcários e arenitos (Figura 2.7).



Figura 2.7: Sistema arriba com base coberta por blocos a sul da praia de Ribeira d'Ilhas. Fotografia de 11 de janeiro de 2014 e orientada de E-W

- **Sistema plataforma rochosa de sopé-arriba:** Entre a Foz do Lizandro Norte até Ribeira d'Ilhas (Figura 2.8), comprimento máximo (extensão) varia entre 230 m a 1200 m (Quadro 2.1) (Neves, 2006). As arribas desde Ribeira d'Ilhas a São Sebastião são compostas por calcários, margas e arenitos. Na Foz do Lizandro as arribas são compostas por calcários e margas.

Quadro 2.1

Características geomorfológicas das plataformas rochosas de sopé do litoral do concelho de Mafra

Local	Exposição	Extensão máxima (m)	Largura máxima (m)	Litologia	Inclinação*
Foz Lizandro Norte	W	410	120	Calcários, Margas	SPS 0°-5°
São Sebastião	W/WSW	240	70	Calcários, Margas, Arenitos	SPS 0°-5°
Tombadoiros	W/WSW	640	90	Calcários, Margas, Arenitos	SPS 0°-5°
Mil Regos	W/WNW	230	60	Calcários, Margas	SPS 0°-5°
Ribeira d'Ilhas	W/WNW	1200	120	Calcários, Margas, Arenitos	SPS 0°-5°

Adaptado de Neves (2006)

*SPS- Sub-Paralela Sul



Figura 2.8: Plataforma rochosa de sopé a norte da praia de Ribeira d'Ilhas. Fotografia de 11 de janeiro de 2014 e orientada de S-N

- **Sistema praia alongada e estreita-arriba:** Praia da Empa, do Matadouro, São Sebastião e Algodio, todas elas localizadas junto à Ericeira, são praias pequenas muito estreitas (com largura inferior a 50 m) (Neves, 2006) (Figura 2.9).



Figura 2.9: Sistema praia alongada e estreita-arriba na praia da Empa, Matadouro, São Sebastião e Algodio. Excerto ortofotomapa 2010

- **Sistema praia encastrada-arriba:** Praia da Baleia, do Peixe e da Calada. Nestas praias, a inclinação das camadas na arriba é, em geral, fraca e nela afloram bancadas de materiais brandos intercalados com materiais principalmente resistentes. Nos locais onde afloram estes últimos materiais surgem saliências rochosas que proporcionam situações de abrigo a sotamar, tendo como consequência, uma acumulação de areias (Figura 2.10, 2.11 e 2.12) (Neves, 2006). As arribas da praia da Baleia são compostas por pelitos, arenitos e conglomerados, as da praia do Peixe são arenitos, pelitos e dolomitos e as da praia da Calada por arenitos, margas e calcários.



Figura 2.10: Praia encastrada-arriba na praia da Baleia (Ericeira). Fotografia de 20 de julho de 2014 e orientada de S-N

A praia do Peixe é uma praia encastrada natural, cuja dimensão foi favorecida por intervenção humana, com a construção do esporão a norte da mesma e pela construção dos muros (Figura 2.11).



Figura 2.11: Praia encastrada-arriba na praia do Peixe (Ericeira). Fotografia de 10 de janeiro de 2014 e orientada de S-N



Figura 2.12: Praia encastrada-arriba na praia da Calada. Fonte: SIARL. Fotografia orientada de W-E

- **Sistema praia-planície aluvial:** Encontram-se na Praia da Foz do Lizandro, na Praia de Ribeira d'Ilhas e na Praia de São Lourenço, onde desaguam o rio Lizandro, Cuco e Safarujó, respetivamente (Figura 2.13, 2.14 e 2.15). Na figura 2.13 e 2.15, a foz do rio Lizandro e Safarujó está fechada por uma barra arenosa.



Figura 2.13: Sistema praia-planície aluvial na praia da Foz do Lizandro. Fotografia de 6 de setembro de 2015 e orientada de N-S



Figura 2.14: Sistema praia-planície aluvial na praia de Ribeira d'Ilhas. Fotografia de 10 de janeiro de 2014 e orientada de S-N



Figura 2.15: Sistema praia-planície aluvial na praia de São Lourenço. Fonte: SIARL. Fotografia orientada de W-E

- **Sistema praia-duna:** Este sistema só se verifica na praia da Foz do Lizandro e tem entre 150 a 200 m de extensão; a praia encontra-se exposta a WNW e tem uma largura entre os 100 e os 175 m (Neves, 2006). O sector dunar apresenta uma largura máxima de 300 m, sendo que atualmente encontra-se parcialmente artificializado (Figura 2.13).

- **Litoral artificializado:** Demonstra essencialmente as intervenções na linha de costa projetadas para a instalação das infraestruturas ligadas ao porto de pesca da Ericeira (Figura 2.16 e 2.17).



Figura 2.16: Porto de Pesca na Praia do Peixe (Ericeira). Fotografia de 10 de janeiro de 2014 e orientada de S-N



Figura 2.17: Litoral artificializado na praia da Foz do Lizandro
Fonte: SIARL. Fotografia orientada de W-E

2.3. Caracterização climática

Para avaliar a caracterização climática da área de estudo foram considerados os dados das normais climatológicas de 1951-1980 das estações do Cabo da Roca (38°47'N; 9°30'W, a uma altitude de 143 m) e do Cabo Carvoeiro (39°21'N; 9°24'W, a uma altitude de 32 m). A escolha destas duas estações climatológicas deve-se ao facto de ambas conterem séries de dados longos, com 30 anos cada uma. Para este trabalho pretendia-se utilizar os dados das normais climatológicas mais recentes, 1971-2000, no entanto, não se encontram acessíveis. Apesar de todos os parâmetros climáticos serem importantes para a caracterização climática de uma determinada região, utilizou-se aqueles que regulam os processos de evolução dos litorais rochosos, como é o caso da temperatura e da precipitação. A temperatura, constitui-se como um fator que favorece a ocorrência de alguns processos biológicos e de meteorização e com maior influência na evolução dos litorais rochosos (Neves, 2004). A precipitação, também se constituiu como um fator importante no desencadeamento de alguns processos de evolução das vertentes, de que as arribas constituem um exemplo particular, como a erosão hídrica e movimentos de massa, *e.g.* desabamentos e deslizamentos (Neves, 2004).

Temperatura

As temperaturas registadas no período de 1951-1980 nas Estações Climatológicas do Cabo da Roca e do Cabo Carvoeiro, apresentam valores médios mensais bastante semelhantes, apesar de variarem ao longo do ano, sendo os meses entre dezembro e fevereiro os mais frios e os meses de julho e agosto os mais quentes (Figura 2.18).

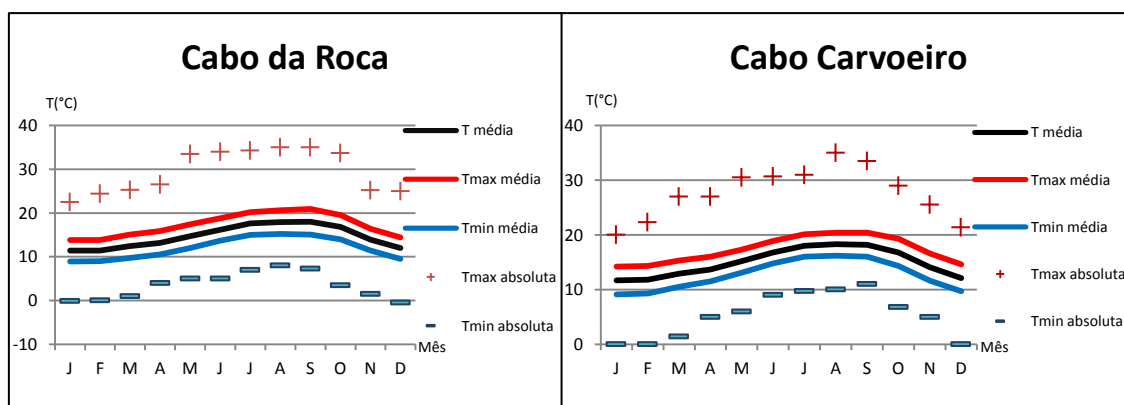


Figura 2.18: Temperaturas (T°C) no período de 1951-1980 nas estações climatológicas do Cabo da Roca e do Cabo Carvoeiro, respetivamente.

Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980, Serviço Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1991

Em termos gerais, entre 1951 e 1980, a amplitude térmica foi bastante reduzida, porque ambas as estações sofrem influência marítima porque se encontram localizadas em promontórios (Quadro 2.2).

Quadro 2.2

Temperatura média anual máxima, média anual mínima, média anual e amplitude térmica anual no período de 1951-1980 nas estações climatológicas do Cabo da Roca e do Cabo Carvoeiro

Temperatura	Cabo da Roca	Cabo Carvoeiro
Média anual máxima	17,2	17,3
Média anual	14,6	15
Média anual mínima	12	12,7
Amplitude térmica anual	5,2	4,6

Fonte: Normais Climatológicas correspondentes a 1951-1980, Serviço Nacional

Precipitação

A precipitação do litoral do concelho de Mafra é marcada por uma grande irregularidade inter-anual e intra-anual, como toda a Estremadura (Daveau, 1988 *in* Neves, 2004). Ambas as estações revelam que os meses mais secos, junho, julho e agosto, contêm valores inferiores a 20 mm. Em contrapartida, os meses com valores mais elevados ocorrem entre novembro e fevereiro (Figura 2.19). A precipitação média anual para a estação do Cabo da Roca foi de 519,1 mm, com uma máxima mensal de 80,6 mm no mês de novembro e com uma mínima mensal de 9,0 mm no mês de julho. A precipitação média anual para a estação do Cabo Carvoeiro foi de 591,2 mm, com uma máxima mensal de 74,0 mm no mês de fevereiro e com uma mínima mensal de 13,7 mm para o mês de julho.

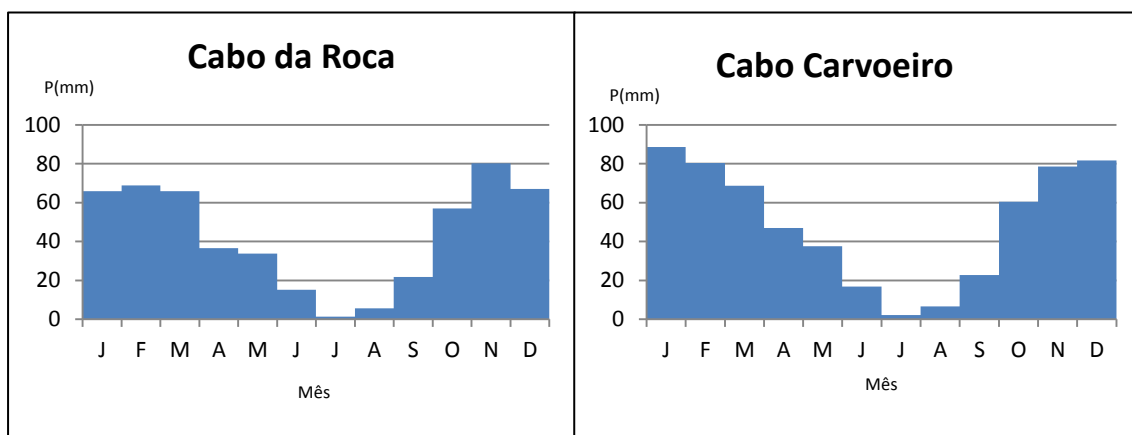


Figura 2.19: Precipitação (P mm) média mensal no período de 1951-1980 nas estações climatológicas do Cabo da Roca e do Cabo Carvoeiro, respetivamente.

Fonte: Normais Climatológicas correspondentes a 1951-1980, Serviço Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1991.

2.4. Caracterização do clima de agitação marítima

As ondas são como um dos principais agentes de modelação do litoral, seja pela ação direta sobre as praias e as arribas, provocando processos erosivos e/ou de transporte e acumulação, seja pela ação indireta, ao ajudar a ocorrência de processos de meteorização e ao influenciar o tipo e a distribuição dos seres vivos que ocupam a faixa sujeita à sua ação.

A costa oeste portuguesa encontra-se exposta às condições marítimas do Oceano Atlântico. A caracterização do clima de agitação marítima pretende avaliar os parâmetros de onda, bem como os seus valores máximos e médios. Os parâmetros associados à ondulação referem-se à altura significativa (H_s), o período de pico (T_p) e a direção (Dir).

O quadro 2.3 apresenta os principais trabalhos publicados acerca do clima de agitação marítima no litoral ocidental de Portugal, analisados durante a década de 1980, 1990 e 2000.

Quadro 2.3

Estudos do clima de agitação marítima no litoral ocidental de Portugal. (o.v.: observação visual; b.o.: bóia ondógrafo; m.n.: modelação numérica; H_s : altura significativa de largo; T_s : período significativo; T_z : período médio; T_p : período de pico; D : rumo; \bar{X} : média; f : mais frequente)

Autor	Local e tipo de medição	Período de análise	H_s (m)	$T_s = * (s)$	$D (^\circ)$
				$T_z = ** (s)$	
				$T_p = *** (s)$	
Pires & Pessanha (1982)	Sines (b.o.)	1974-80 (2031 obs.)	_____	_____	315 (76%)
					H_s de 1 a 1,5m (27%)
					H_s de 1,5 a 2m (15%)
					T_z de 5-6s (23%)
					T_z de 6-7s (17%)
					270 (21%)
					225 (2%)
Pires & Pessanha (1982)	Cabo da Roca (b.o.)	1976-80	2,0 (\bar{X} anual)	8** (\bar{X} anual)	_____
			1-,15 (f)		
Costa (1987)	Figueira da Foz (b.o.)	1984-85	1-2 (43%)	5-7** (40%)	281,3-303,7 (70%)
			2,1 (\bar{X})	7** (\bar{X})	295 (\bar{X})
Lautensach (1987)	Cabo Carvoeiro (o.v.)	1928	_____	_____	315 (67%)
					270 (17%)
Lautensach (1987)	Cabo da Roca (o.v.)	1928	_____	_____	315 (30%)
					270 (41%)
Teixeira (1990)	Cabo Raso (o.v.)	1988-89	2,0 (\bar{X})	11,1* (\bar{X})	_____
Teixeira (1990)	Cabo Espichel (o.v.)	1988-89	2,1 (\bar{X})	12,9* (\bar{X})	_____
Costa (1994)	Figueira da Foz (b.o.)	1990-93	1,1-2,6 (\bar{X} mensal)	5-9** (\bar{X} mensal)	315 (80%)
			Dezembro	8-13*** (\bar{X} mensal)	>3m=315 (79%)
			>3m (28%)		>5m=315 (94%)
			>5m (3%)		292,5-337,5 (90%)
Costa (1994)	Sines (b.o.)	1988-93	1,1-2,6 (\bar{X} mensa)	5-9** (\bar{X} mensal)	315 (80%)
			Dezembro	8-13*** (\bar{X} mensal)	>3m=315 (72%)
			>3m (18%)		>5m=315 (57%)
			>5m (32%)		>5m=270 (42%)
					292,2-315 (90%)

Quadro 2.3: continuação

Autor	Local e tipo de medição	Período de análise	H_s (m)	$T_s = * (s)$	D (°)
				$T_z = ** (s)$	
				$T_p = *** (s)$	
Henriques (1996)	Cabo da Roca (m.n.)	1989-91	—	—	315 (72%) 270 (25%)
Andrade (1999)	Baleal (m.n.)	1996-98	1-2 (50%)	7-8* (18%)	278 (\bar{X})
			2-3 (23%)	8-9 (19%)	261-270 (31%)
			>5 (9%)	9-10 (17%)	271-280 (21%)
Soares (1999)	Continente Norte 1 (ao largo de Espinho) (m.n.)	1989-98	2,4 (\bar{X} anual)	6,1** (\bar{X} anual)	292,5-315 (44%)
			1,6-3,3 (\bar{X} mensal)	5,1-7,0** (\bar{X} mensal)	247,5-292,5 (32%)
				10,6*** (\bar{X} anual)	
				7,8-12,9*** (\bar{X} mensal)	
Soares (1999)	Continente Norte 2 (ao largo de Peniche) (m.n.)	1989-98	2,4 (\bar{X} anual)	6,1** (\bar{X} anual)	292,5-315 (43%)
			1,6-3,3 (\bar{X} mensal)	5,1-7,0** (\bar{X} mensal)	247,5-292,5 (32%)
				10,5*** (\bar{X} anual)	
				7,8-12,9*** (\bar{X} mensal)	
Soares (1999)	Continente Centro (ao largo de Sines) (m.n.)	1989-98	2,2 (\bar{X} anual)	6,0** (\bar{X} anual)	292,5-315 (59%)
			1,5-3,0 (\bar{X} mensal)	5,0-7,0** (\bar{X} mensal)	247,5-292,5 (29%)
				10,8*** (\bar{X} anual)	
				7,8-13,4*** (\bar{X} mensal)	
Costa <i>et al</i> (2001)	Figueira da Foz (b.o.)	1980-2001	1-2 (40%)	5-7** (41%)	92,5-337,5 (71%)
				11-13 (33%)	
Costa <i>et al</i> (2001)	Sines (b.o.)	1980-2001	1-2 (49%)	5-7** (44%)	292,5-337,5 (77%)
				11-13 (60%)	
Vitorino <i>et al</i> (2002)	Leixões (b.o.)	1996-99	1,4-3,5 (\bar{X} mensal)	5,2-8,5** (\bar{X} mensal)	—
			1,4-1,6 (Verão)	8,0-13,6*** (\bar{X} mensal)	
			3,3-3,5 (Inverno)	11-13** (Verão)	
				>13** (Inverno)	
Coelho (2005)	Leixões (b.o.)	1981-2003	0,5-1,5 (40%)	7-10** (44%)	292,5-33,7 (42%)

Fonte: Trindade (2010)

Ao longo dos diversos períodos em análise referidos no quadro 2.4, bem como dos locais e dos diferentes tipos de medição, a H_s varia entre os 1 a 3 m, com exceção no inverno marítimo, na qual se podem verificar situações de ondas mais energéticas, onde a H_{s0} varia entre 3 a 6 m. O T_s ocorre, com maior incidência entre 7 e 11 s, T_z varia entre os 5 e os 9 s, com exceção no período de inverno marítimo entre 1996-99, em Leixões, onde o T_z foi superior a 13 s. O T_p alterna entre 8 e 13 s. A D predominante é de 315°, que corresponde à ondulação de NW.

Para a caracterização do regime de ondulação do concelho de Mafra utilizaram-se duas séries de dados, ambas contemplando os seguintes parâmetros: altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período médio (T_z), período máximo (T_{max}) e direção significativa (D_s). A primeira série diz respeito às bóias de Sines e de Leixões do Instituto Hidrográfico entre 01 de janeiro de 2004 e 31 de julho de 2007 (Trindade, 2010); a segunda série data de 1 de setembro de 1999 e 31 de dezembro de 2009 para as mesmas bóias (Paixão, 2011).

De acordo com Trindade (2010), em ambas as séries, a H_s varia entre 1 e 2 m com 46,8% das ocorrências em Leixões e 49,8% em Sines. A H_{max} mais frequente em Leixões é de 2-3 m com

30,8% dos eventos e com H_{max} extrema registada entre 10-11 m. Em Sines, a classe com maior predominância encontra-se entre 1 e 2 m com 43,7% das ocorrências e com H_{max} registada entre 8-9 m. O T_z mais frequente ocorre entre os 5 e 6 s em ambas as bóias. O T_{max} ocorre entre os 14 e 15 s em Leixões e os 10 e 11 s em Sines. A D_s é no sentido de NW com 41,9% e 56,3%, em Leixões e Sines, respetivamente.

De acordo com Paixão (2011), em ambas as bóias, a H_s varia entre os 2 e 3 m durante os meses de verão. Em Leixões e em Sines, a H_{max} mais frequente atinge os 5 m.

Ambos os autores salientam as lacunas existentes nas várias séries de dados.

A partir do quadro 2.4 e com a análise da bibliografia referente às bóias ondógrafos para a caracterização da ondulação, conclui-se que ao longos de todos os períodos em análise e através dos diversificados meios de medição, a H_s varia entre 1 a 3 m, o T_z é maior que 5 s e a D dominante é de NW.

Assim, para além do uso de bibliografia utilizada para a caracterização do regime de ondulação, usou-se também os dados modelados da Figueira da Foz através do *software* Micore - *Morphological Impacts and COastal Risks induced by Extreme storm events* (Dodet *et al.*, 2010) que compreende um período entre 1953-2009, na qual são caracterizados H_s , T_z e D_s .

A H_s mais frequente nesta série temporal de dados varia entre os 1 a 2 m, exclusive, com uma percentagem de 52% dos dados a refletirem esta tendência (Figura 2.20).

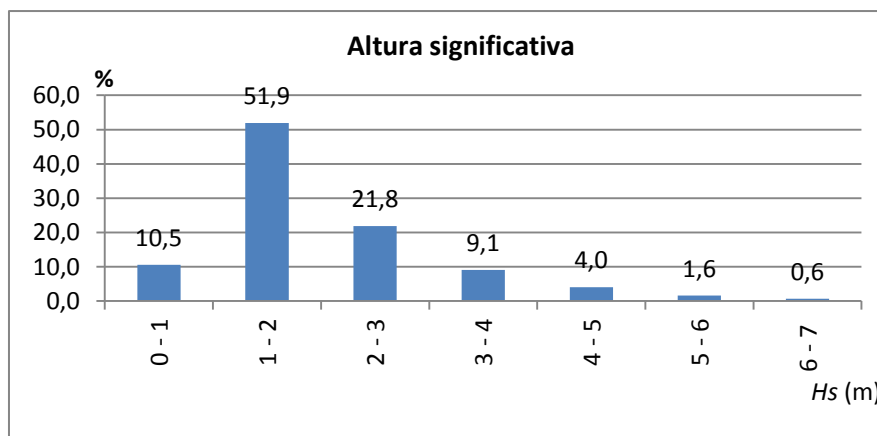


Figura 2.20: Distribuição da Altura Significativa (H_s) da ondulação a partir dos dados modelados da Figueira da Foz.
Fonte: Dodet *et al.*, 2010

Relativamente ao T_z , tal como se observa na figura 2.21, não existe uma tendência significativa, ao contrário do ponto anterior, destacando-se como valores mais frequentes 6 a 7 segundos, com 15,75%; 7 a 8 segundos com 18,22%; 8 a 9 segundos com 16,73%; 9 a 10 segundos com 14,99%.

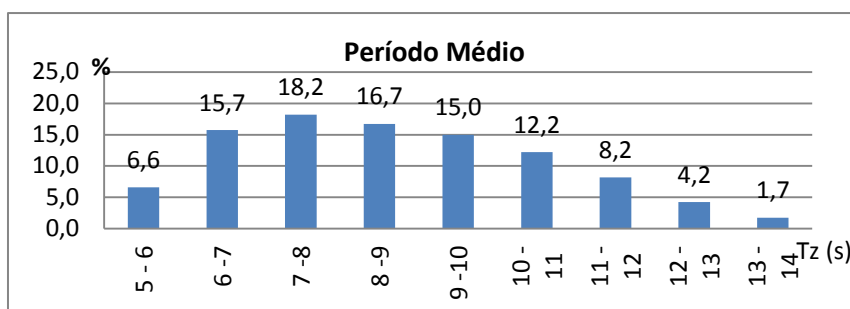


Figura 2.21: Distribuição de Período Médio (T_z) da ondulação a partir dos dados modelados da Figueira da Foz.
Fonte: Dodet *et al*, 2010

No que toca à D_s da ondulação, constata-se uma frequência dos rumos de NW com 43,44% dos valores, o que comprova a ondulação dominante da costa portuguesa (Figura 2.22).

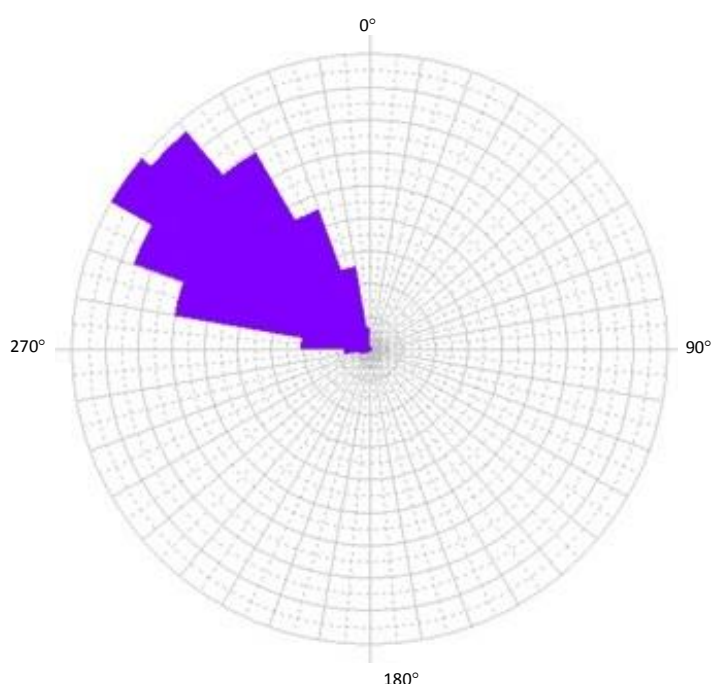


Figura 2.22: Distribuição da Direção Significativa (D_s) da ondulação a partir dos dados modelados da Figueira da Foz.
Fonte: Dodet *et al*, 2010

Relativamente às situações de temporais, de acordo com Paixão (2011), nas bóias ondógrafos acima mencionadas, é possível identificar algumas situações de ondas mais energéticas em que H_s é superior ou igual a 5 m, principalmente nos meses de Inverno (em Leixões, no inverno marítimo de 2003, 2008 e 2009; em Sines, no inverno marítimo de 2008). Referente à H_{max} , observa-se situações em que o valor é ≥ 10 m. Para além disso, os dados referentes às observações indicam valores extremos, em que $H_{max} \geq 15$ m em Leixões, nos Invernos de 2003 e 2008.

De acordo com Trindade (2010), tendo por base as bóias ondógrafos acima mencionadas, observa-se que o mês de novembro, em Sines e o mês de dezembro, em Leixões, são os meses com mais temporais, embora com pouca frequência (Quadro 2.4).

Quadro 2.4

Frequência de valores associados a tempestades, nas bóias de Leixões e Sines, entre Janeiro de 2004 e julho de 2007

Leixões			Sines	
Meses	Hs > 5m (%)	Hmax > 5m (%)	Hs > 5m (%)	Hmax > 5m (%)
outubro	0,86	17,4	0,21	7,2
novembro	2,63	13,9	2,01	11,0
dezembro	5,77	25,7	0,51	8,7
janeiro	1,68	19,6	0,01	1,9
fevereiro	2,92	14,0	1,67	12,2
março	0,98	15,5	0,14	6,6

Fonte: Trindade (2010)

Tal como a altura significativa, a percentagem mais elevada de altura máxima em Leixões ocorre no mês de dezembro, com 25,7%, no entanto, tal facto não se observa em Sines, em que a percentagem mais elevada de altura máxima ocorre no mês de fevereiro, com 12,2%.

No quadro 2.5 e 2.6 observam-se os temporais ocorridos em Sines e em Leixões entre 01 de janeiro de 2004 e 30 de julho de 2007 e os seus parâmetros associados (Trindade, 2010).

Quadro 2.5

Temporais ocorridos em Sines

Data (inicio)	Duração (hh:mm)	$\overline{H_s}$ (m)	$\overline{T_z}$ (s)	Hmax (m)	THmax (s)	Tmax (s)	Ds (°)
25.03.2005	9:00	4,78	9,50	9,77	20,30	21,10	292,50 (52,8%)
18.02.2006	24:10	4,80	8,74	9,98	14,80	19,50	315,0 (60,5%)
24.11.2006	90:57	4,57	9,47	11,84	14,80	25,00	292,5 (39,6%)
05.12.2006	19:22	4,44	8,98	9,62	18,00	20,30	315,0 (80,6%)
08.12.2006	15:09	4,76	9,11	10,58	18,00	18,80	315,0 (65,5%)
10.02.2007	34:06	4,38	11,01	9,77	20,30	27,30	315,0 (78,2%)
22.05.2007	32:18	5,04	11,76	11,58	21,90	24,20	292,5 (98,3%)
Média	32:09	4,68	9,80				

Fonte: Trindade (2010)

Quadro 2.6

Temporais ocorridos em Leixões

Data (inicio)	Duração (hh:mm)	$\overline{H_s}$ (m)	$\overline{T_z}$ (s)	Hmax (m)	THmax (s)	Tmax (s)	Ds (°)
08.01.2004	11:04	4,38	9,95	8,91	20,30	21,90	292,5 (90,6%)
02.04.2004	11:37	4,85	9,58	10,12	17,20	21,10	315,0 (100,0%)
08.10.2004	17:29	4,44	7,20	9,43	14,10	14,80	225,0 (36,4%)
27.10.2004	45:13	4,25	8,28	10,09	16,40	18,80	315,0 (68,8%)
19.12.2004	06:21	4,63	9,10	9,10	17,2	20,30	315,0 (100,0%)
25.12.2004	27:38	5,26	9,40	10,69	19,50	20,30	315,0 (100,0%)
18.01.2005	36:14	5,92	11,83	13,50	22,70	27,30	315,0 (98,6%)
25.03.2005	13:59	4,60	8,93	9,98	18,00	21,9	270,0 (90,0%)
02.12.2005	17:29	4,86	9,00	12,02	17,20	19,50	315,0 (74,3%)
01.01.2006	22:01	4,35	9,12	9,77	15,60	21,10	315,0 (92,7%)
06.01.2006	06:04	4,79	9,46	9,86	15,60	18,00	315,0 (83,3%)
15.01.2006	24:51	4,90	10,55	9,81	18,80	21,9	292,5 (86,7%)
21.05.2006	07:54	5,59	9,62	10,77	15,60	18,80	292,5 (73,3%)
23.10.2006	09:00	5,54	9,24	12,01	16,04	18,00	292,5 (100,0%)
24.11.2006	123:20	4,75	9,04	11,54	14,80	23,40	292,5 (40,8%)
03.12.2006	66:52	4,61	9,00	10,62	14,8	21,10	315,0 (80,3%)
07.12.2006	47:21	6,01	9,36	13,34	17,20	21,90	315,0 (73,8%)
09.02.2007	84:26	4,83	9,60	12,61	22,70	25,80	292,5 (62,2%)
22.02.2007	39:31	5,22	10,15	11,70	19,50	23,40	292,5 (93,8%)
06.03.2007	39:47	4,67	8,67	10,76	14,80	19,5	315,0 (51,1%)
19.03.2007	16:39	4,95	9,60	10,30	21,90	21,90	337,5 (52,1%)
Média	30:33	4,92	9,37				

Fonte:Trindade (2010)

os dados dos parâmetros dos quadros 2.5 e 2.6 referem-se a ocorrências contínuas ou intercaladas de $H_s > 5\text{m}$, com o mínimo de retorno de 6 horas (Trindade, 2010).

Tal como se observa a partir dos quadros 2.5 e 2.6, o número de temporais ocorridos em Sines e em Leixões são distintos. A bóia de Leixões registou 21 temporais com maior número em 2006, enquanto a bóia de Sines registou 7 temporais também com maior número em 2006 e sem qualquer registo no ano de 2004.

Em termos médios, as duas bóias demonstram valores aproximadamente equiparados, isto é, o valor da duração é de 32h09m e 30h33m, a altura significativa é 4,68 e 4,92 e o período é de 9,80 e 9,37, em Sines e Leixões, respetivamente.

A H_s mais elevada em Leixões, que ocorre no dia 07 de dezembro de 2006, é de 6,01 m, sendo que este valor representa a média de medições desse dia. No caso de Sines, ocorre no dia 22 de maio de 2007 com um valor de 5,04m.

O T_z elevado em Leixões, ocorre no dia 18 de janeiro de 2005, é de 11,83 segundos, sendo que este valor representa a média de medições desse dia. No caso de Sines, ocorre no dia 22 de maio de 2001 com um valor de 11,76 segundos.

As D_s , associadas aos temporais, mais frequentes são as de Noroeste, com 11 registos em Leixões e 7 em Sines.

No período temporal entre dezembro de 2013 e fevereiro de 2014, ocorreram um conjunto de temporais sucessivos, na qual resultou galgamentos oceânicos e inundações ao longo da costa oeste de Portugal e que afetou vários núcleos urbanos estando alguns deles protegidos por obras de engenharia. Nesse período temporal, H_s foi superior a 5 m em Leixões e superior a 6 m em Sines, segundo os dados do Instituto Hidrográfico (Santos *et al.*, 2014). Entre os dias 3 a 7 de janeiro, foi período no qual se registaram os valores extremos de altura de onda, com um H_{max} de 15 m em Sines e de 13 m em Leixões, e com valores máximos na ordem dos 28 segundos (Pinto, 2014).

2.5. Circulação de sedimentos na deriva litoral

A ondulação dominante, como se referiu, é de NW, logo oblíqua à linha de costa. A refração da ondulação oblíqua à linha de costa gera a corrente de deriva litoral. Esta corrente é caracterizada por assegurar o transporte de sedimentos ao longo do litoral, razão porque também é chamada corrente longilitoral. Na costa ocidental portuguesa é predominante de N-S.

Tal facto, pode ser verificado a partir de obras de defesa costeira, como é o caso dos esporões, em que a barlamar dos mesmos ocorre acumulação dos sedimentos e a sotamar escassez de sedimentos (Ramos-Pereira, 2001; Alveirinho Dias, 2003).

Estima-se que o valor de sedimentos transportados esteja compreendido entre 1 milhão e 2 milhões de metros cúbicos por ano, valor esse dependente de vários fatores, na qual se destaca o afluo de aluviões que chegam ao litoral (Ramos-Pereira, 2001).

O setor costeiro entre Peniche e o Cabo Raso, segundo Santos *et al.* (2014), caracteriza-se por ser de natureza catamórfica (litoral de erosão) e é deficitário em sedimento, sendo que a deriva litoral potencial (da ordem de $10^6 \text{m}^3 \text{ano}^{-1}$) é muito superior à deriva real (da ordem de $10^4 \text{m}^3 \text{ano}^{-1}$). A magnitude da deriva real depende das fontes sedimentares que, neste troço litoral, se associam essencialmente à contribuição das linhas de água. A contribuição sedimentar útil para as praias proveniente das arribas será relativamente pouco significativa, uma vez que são maioritariamente de natureza carbonatada e a taxa de erosão é reduzida.

Relativamente à definição do balanço sedimentar na situação atual (Portela, 2010 *in* Santos *et al.*, 2014), este autor define, desde a Ponta da Lamporeira ao Cabo Raso pelo processo de dragagens no porto da Ericeira, um balanço de 0,02 (Lira *et al.*, 2013; Ribeiro, 2014 *in* Santos *et*

al., 2014) e através do processo do caudal sólido das ribeiras costeiras um balanço de 0,13 e 0,29, respetivamente, este balanço é da ordem de $10^5 \text{m}^3 \text{ano}^{-1}$.

De acordo com o Sistema Nacional de Informação dos Recursos do Litoral (SNIRL), a unidade litoral entre a Ponta da Lamporeira e a foz do Lizandro balanço sedimentar caracteriza-se por ser negativo, e consequentemente, é de esperar a quase ausência de sedimento em quantidade significativa próximo das zonas afastadas da foz dos rios ou ribeiras. As praias presentes nesta área de estudo (arenosas) apresentam variações transversais. Estas praias apresentam um perfil com uma morfodinâmica geral intermédia a dissipativa e o mesmo contém uma variação sazonal.

Capítulo III – Fontes, Métodos e Técnicas

3.1. Fontes de informação

A aquisição de dados referentes à dinâmica litoral analisada a partir de diversas escalas temporais constituem uma ferramenta essencial para estes estudos, uma vez que o litoral por natureza se constitui como móvel, daí a importância das diversas fontes documentais. Assim, Larson e Kraus (2005) *in* Baptista (2006) definem diversas escalas temporais: “(i) *mega-escala*: descreve as variações ocorrentes em períodos variáveis, entre décadas e séculos; (ii) *macro-escala*: integra escalas temporais de variações sazonais ou anuais; (iii) *meso-escala*: considera uma escala temporal de horas a dias”, sendo que este trabalho tem como escala temporal a mega-escala.

Boak and Turner (2005) abordam as diversas fontes documentais utilizadas nos estudos de dinâmica da linha de costa, podendo estas também ser aplicadas na aquisição direta e remota de dados acerca da dinâmica litoral:

- **As fotografias terrestres históricas** fornecem, num contexto genérico, informação geral ao investigador como as características morfológicas. No entanto, a maioria das fotografias terrestres são muito oblíquas com informação limitada relativamente à escala ou aos pontos de controlo e não contêm informações acerca da ondulação e das marés na altura em que as fotografias foram tiradas (Dolan, Hayden and May, 1983 *in* Boak and Turner, 2005);
- **As fotografias aéreas** relativamente ao litoral começaram a ser adquiridas em todo o mundo na década de 1920 (Anders and Byrnes, 1991; Crowell, Honeycutt and Hatheway, 1999 *in* Boak and Turner, 2005), contudo só no final de 1930 é que as mesmas se tornaram disponíveis, apresentando uma qualidade razoável (Anders and Byrnes, 1991 *in* Boak and Turner, 2005). As fotografias aéreas oferecem uma boa escala espacial da costa, mas a escala temporal é muito específica e contém várias distorções e precisam de ser corrigidas antes de serem utilizadas.
- O **Global Positioning System** (GPS) constitui-se como o método mais recente na obtenção de dados relacionados com a linha de costa e as suas vantagens estão associadas por ser um método rápido, preciso e de baixo custo (Morton and Speed, 1998 *in* Boak and Turner, 2005). Os erros associados são causados pela determinação visual da linha de interesse por parte do utilizador, em vez dos erros provenientes das medições do GPS.

- **As imagens multiespectrais/hiperspectrais** são obtidas por satélites que fornecem o monitoramento quase contínuo de todas as linhas de costa do mundo (Morton, 1991 *in* Boak and Turner, 2005). As imagens multiespectrais tradicionais advêm dos satélites Landsat (Cracknell, 1999 *in* Boak and Turner, 2005). As imagens hiperspectrais são as que fornecem a largura e a contínua cobertura espectral. As principais limitações desta fonte de dados para os estudos acerca do litoral são o custo e a resolução dos pixéis (Cracknell, 1999 *in* Boak and Turner, 2005). O elevado custo significa que os dados são limitados a uma escala espacial e temporal. As vantagens destas imagens são as grandes áreas cobertas e as informações detalhadas fornecidas pela resolução espectral.

As imagens obtidas por deteção remota, ao longo da última década, tornaram-se numa fonte documental mais disponível para os investigadores.

Neste estudo as fotografias aéreas e o ortofomapa constituem-se como documentos de aquisição remota dos dados sendo utilizados como cartografia de base (Quadro 3.1).

Quadro 3.1

Bases cartográficas utilizadas com a respetiva fonte e escala

Base Cartográfica	Fonte	Escala
Ortofotomapa de 2010	Proteção Civil de Mafra	1:10 000
Fotografia Aérea de 1965	Direção Geral do Território	1:15 000
Fotografia Oblíqua	Direção Geral do Território	-

As fotografias aéreas de 1965 foram obtidas pelo voo da Direção Geral do Território com uma resolução de 800 dpi, 0,16 m² e abrangem a norte, o limite do concelho e a sul, a Foz do Lizandro (limite do troço litoral, com um sistema praia-duna associado a um estuário a sul e um sistema de arriba a norte).

Os ortofotomapas do concelho contêm uma resolução de 0,0625m².

Ambas as fontes de informação estão associadas ao sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IGeoE*.

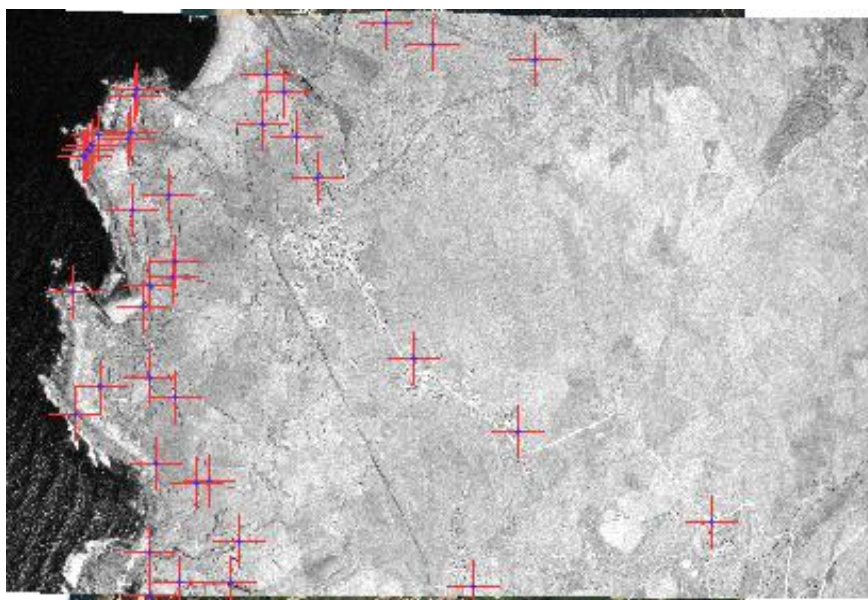
As fotografias oblíquas foram utilizadas para uma visualização mais pormenorizada do local em estudo de modo a retirar qualquer dúvida sobre o território, sendo o SIARL (Sistema de Administração do Recurso ao Litoral), a fonte de informação. O SIARL é administrado pelo Instituto Geográfico Português e de acesso gratuito. É um instrumento que visa a gestão integrada da orla costeira continental, permitindo aos diversos utilizadores ampliar o

conhecimento acerca das dinâmicas de usos e ocupação do solo e dos riscos costeiros. Constitui uma ferramenta que pode ter uma utilização diária pelos serviços, apoiando a decisão, fornecendo informação desde 2007 até 2012 para todo o território continental.

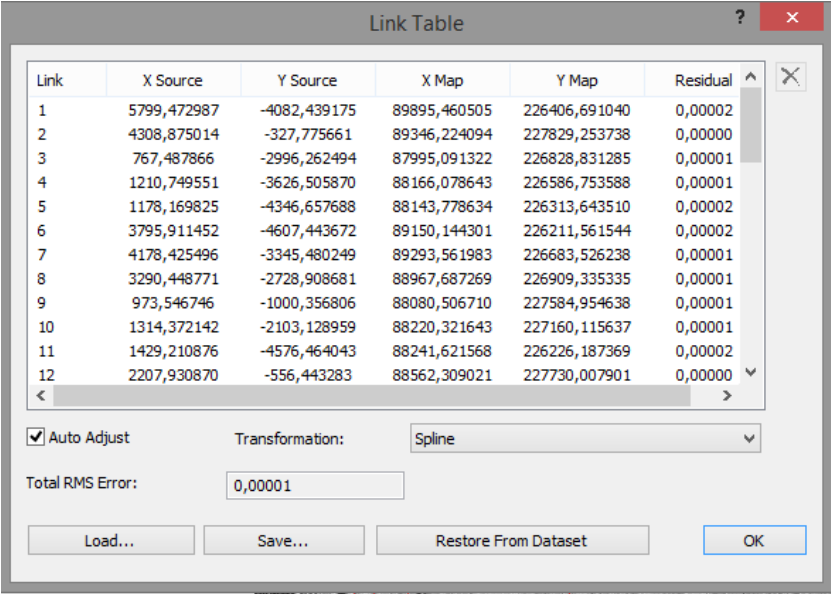
Como referido anteriormente, as fotografias aéreas têm diversas distorções. Para serem utilizadas com rigor exigido têm que ser georreferenciadas. A georreferenciação das fotografias aéreas foi efetuada com recurso ao *software* ArcGis 10, através da identificação de elementos comuns entre as fotografias aéreas e o ortofotomapa, funcionando este como referencial cartográfico. Para cada imagem foram utilizados em média 30 pontos de georreferenciação. Constituem-se como elementos comuns esquinas de casas, esquinas de limites de propriedade, muros, intercessões de estradas, entre outros.

Na primeira fase, em que se define o posicionamento das imagens, é fundamental que os erros entre as coordenadas do ortofotomapa e das fotografias aéreas sejam os menores possíveis devido às distorções.

Na segunda fase, o *software* possibilita cinco métodos de transformação de ajuste dos dados, sendo os três primeiros, funções polinomiais de 1ª, 2ª e 3ª ordem, o quarto, o método *adjust* e por último, o método *spline*. O método de transformação escolhido foi o método *spline* por ser o método que ajustava melhor as coordenadas de ambas as fontes de informação, contendo poucos erros entre as mesmas (Figura 3.1).



A



Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	5799,472987	-4082,439175	89895,460505	226406,691040	0,00002
2	4308,875014	-327,775661	89346,224094	227829,253738	0,00000
3	767,487866	-2996,262494	87995,091322	226828,831285	0,00001
4	1210,749551	-3626,505870	88166,078643	226586,753588	0,00001
5	1178,169825	-4346,657688	88143,778634	226313,643510	0,00002
6	3795,911452	-4607,443672	89150,144301	226211,561544	0,00002
7	4178,425496	-3345,480249	89293,561983	226683,526238	0,00001
8	3290,448771	-2728,908681	88967,687269	226909,335335	0,00001
9	973,546746	-1000,356806	88080,506710	227584,954638	0,00001
10	1314,372142	-2103,128959	88220,321643	227160,115637	0,00001
11	1429,210876	-4576,464043	88241,621568	226226,187369	0,00002
12	2207,930870	-556,443283	88562,309021	227730,007901	0,00000

☒ Auto Adjust Transformation: Spline
 Total RMS Error: 0,00001
 Load... Save... Restore From Dataset OK

B

Figura 3.1: Processos de georreferenciação das fotografias aéreas através da rede de pontos em comum do ortofotomapa e das fotografias aéreas. **A:** Ajuste da imagem após a aplicação do método de transformação spline. **B:** Identificação de todos os pontos em comum utilizados com a aplicação do método de transformação.

Os erros associados ao processo de ortorretificação das fotografias aéreas de 1965 variam entre 0 a 7 metros (Figura 3.2). A variação espacial do erro baseou-se na medição da distância horizontal de pontos comuns às duas imagens que não foram utilizados no processo de georreferenciação. Verificou-se que a variação deste erro não era constante ao longo do território estudado. Esta metodologia de avaliação permitiu uma maior aproximação à variação das distorções aplicadas à imagem no momento da sua georreferenciação, sendo certo que a variação espacial deste erro não é constante em cada imagem georreferenciada.

3.2. Critérios de identificação de subsistemas litorais

Tendo em conta que a área de estudo é caracterizada por sistemas de arriba, por sistemas praia-arriba, por sistemas praia-dunas, estando associado a um estuário, e por plataforma rochosa de sopé, utilizaram-se vários marcadores de modo a proceder às delimitações dos sistemas em causa.

Boak and Turner (2005) abordam vários indicadores de linha de costa (lc) utilizados em diversos estudos. Estes indicadores são usados como uma referência, *proxy*, com o intuito de representar a “verdadeira” posição da lc e classificam-se em três tipos: o primeiro tipo cinge-se às características visualmente perceptíveis e é um recurso que pode ser visto fisicamente, como por exemplo o limite molhado-seco; o segundo tipo baseia-se num *datum* e é determinado pelas interseções de perfis costeiros com uma elevação vertical específica, por exemplo, o nível médio da água; o terceiro tipo baseia-se na aplicação de técnicas de processamento de imagens de modo a se extrair um *proxy* a partir das imagens digitais que não são visíveis ao olho humano.

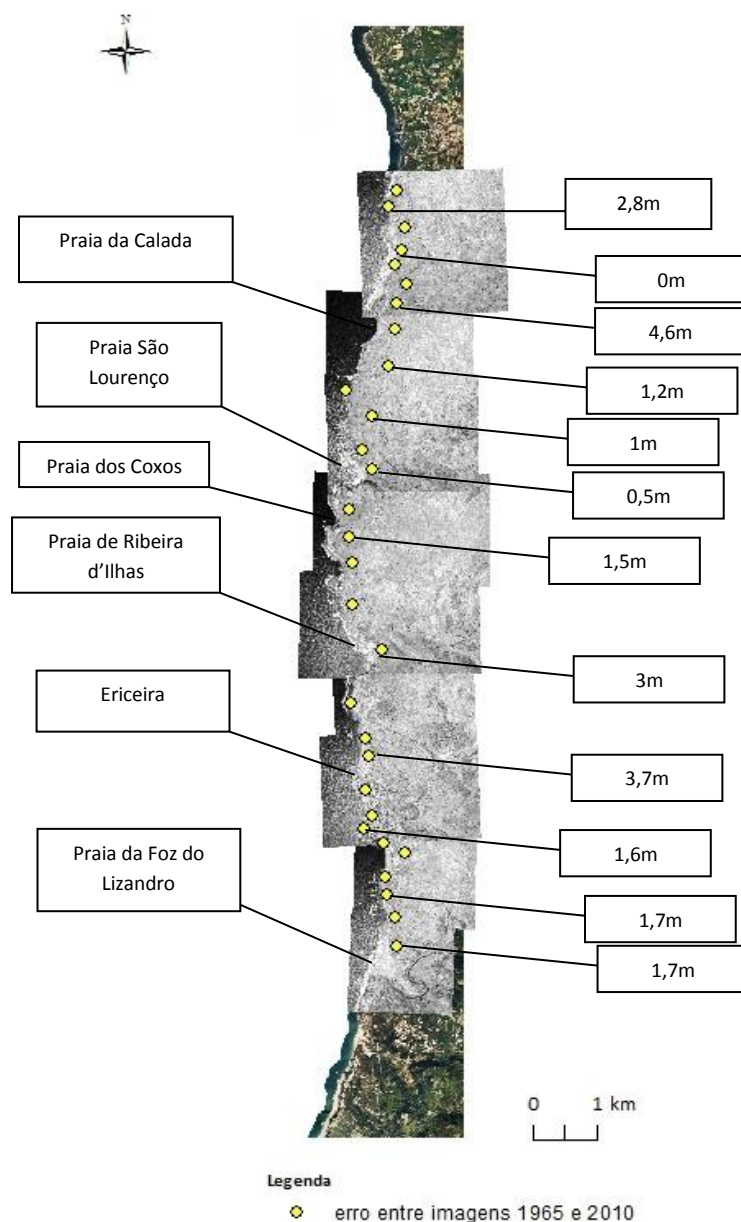


Figura 3.2: Variação espacial do erro

Deste modo, são doze os indicadores referidos por estes autores, sendo eles: a linha do topo de arriba, a linha de base da arriba, muros de proteção (modificações antrópicas), a estabilização da linha de vegetação dunar que se encontra virada para o mar, a linha de vegetação dunar, a escarpa de erosão, a linha de detritos, o nível da água na maré alta, a linha de previsão do nível da água na maré alta, o nível médio da água do mar, a linha de divisão entre o molhado-seco e o ponto de saída da água subterrânea.

Para a delimitação da linha de costa, utilizaram-se como indicadores o limite molhado-seco e a linha de água (Figura 3.3).



Figura 3.3: Delimitação da linha de costa na Praia de Ribeira d'Ihas

Boak and Turner (2005) classificam a linha do topo de arriba como um bom indicador de erosão por ser uma morfologia específica das costas rochosas e por ser indicador que demonstra as áreas afetadas por movimentos de massa. Segundo estes mesmos autores, a delimitação da linha de base da arriba não é facilmente definida devido aos possíveis depósitos.

Assim, nos sistemas de arriba definiu-se a linha do topo de arriba (Figura 3.4 e 3.5) e a sua base, onde se incluíram os depósitos, por estes constituírem uma marca de perigo (deslizamentos e/ou desabamento) (Figura 3.6).

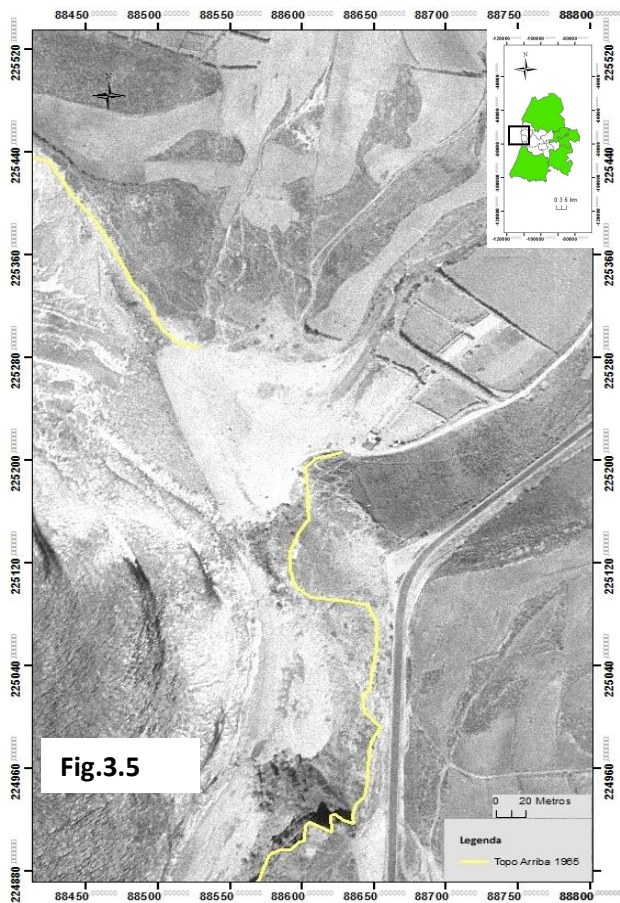


Figura 3.4 e 3.5: Delimitação da linha do topo de arriba em 2010 e 1965, respetivamente, na praia de Ribeira d'Ilhas

As plataformas rochosas de sopé foram delimitadas entre a linha de costa e a base da arriba por ser um sistema erosivo de recuo da arriba e constitui-se como uma proteção da base da arriba do ataque direto do mar (Figura 3.7).



Figura 3.6: Delimitação da base da arriba na Praia de Ribeira d’Ilhas

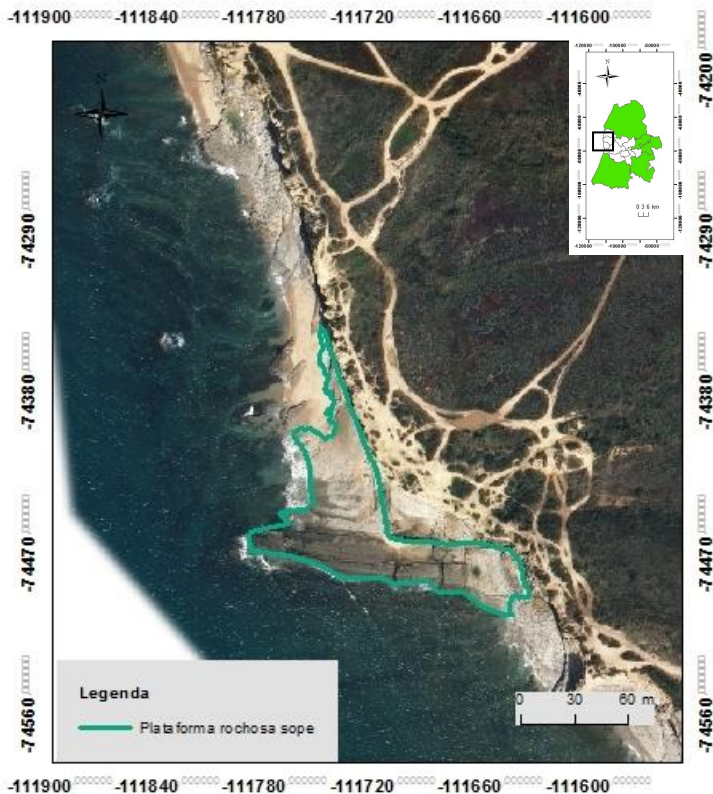


Figura 3.7: Delimitação da plataforma rochosa de sopé a Norte da Praia de Ribeira d’Ilhas

3.3. Indicadores de recuo ou estabilidade de arribas

De modo a estudar o recuo ou a estabilidade das arribas existentes no território em estudo, optou-se pela utilização do indicador “topo de arriba” (Oliveira, 2005) para os anos de 1965 e 2010, por este ser um indicador de erosão que corresponde à fração que potencialmente será afetada por movimentos de massa e que corresponde à zona ativa da arriba.

O cálculo das taxas de recuo das arribas foi efetuado a partir do *software DSAS (Digital Shoreline Analysis System)* que é uma extensão do programa *ArcGis*. Este programa calcula as taxas de variação da posição de várias linhas através de vários métodos estatísticos. De acordo com Thierler *et al.* (2009), para a utilização deste programa é preciso ter em conta, para além da posição das várias linhas, a definição de uma linha base (*baseline*), o número de transectos (perfis) e a sua equidistância, as incertezas do traçado das várias linhas derivadas das fontes de informação e o método estatístico a ser utilizado para os cálculos.

A linha de base deve ser estabelecida adjacente às várias posições das linhas do topo de arriba. Os transectos serão construídos perpendicularmente à linha de base e cruzam as várias linhas

delimitadas, de modo a estabelecer pontos de medição e a sua orientação depende da posição da linha de base (Thierler, 2009). Neste estudo, a linha de base foi construída perpendicularmente às linhas do topo de arriba (*onshore*), acompanhando as mudanças de orientação da linha do topo da arriba.

Tendo em conta a escala espacial, foram construídos 259 transectos com uma equidistância de 50 m (Figura 3.8).

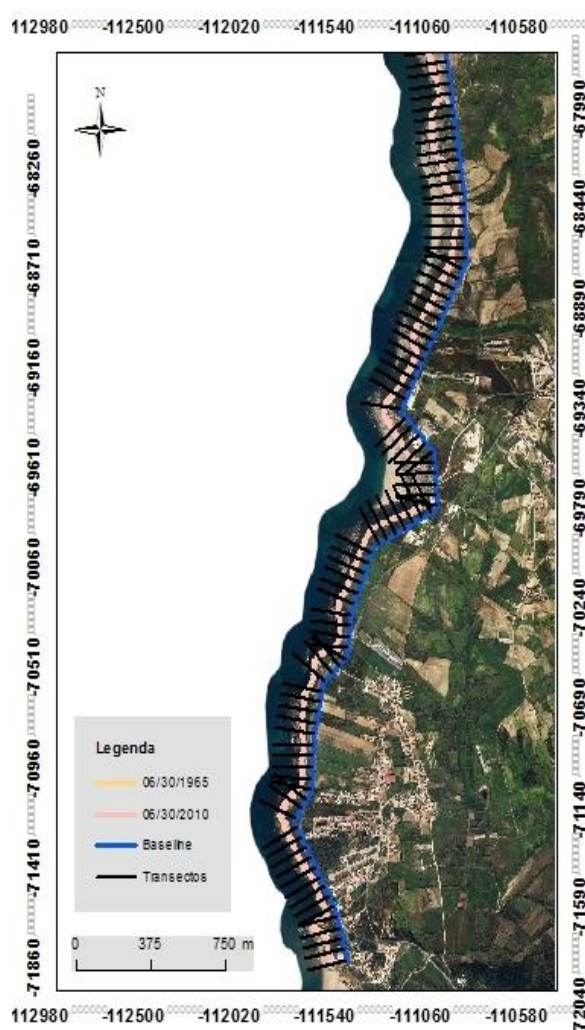


Figura 3.8: Excerto do ortofotomapa de 2010, com a representação das linhas do topo de arriba, da linha de base e dos transectos

Nota: Dada a escala no exemplo que aqui se ilustra é impossível visualizar a linha do topo de arriba de 1965

A obtenção das taxas de recuo das arribas depende do método estatístico utilizado.

O DSAS disponibiliza seis métodos estatísticos: *SCE (Shoreline Change Envelope)*; *NSM (Net Shoreline Movement)*; *EPR (End Point Rate)*; *LRR (Linear Regression Rate)*; *WLR (Weighted Linear Regression)*; *LMS (Least Median of Squares)* (Thieler *et al.*, 2009). Neste estudo, optou-se pela utilização do método estatístico *EPR*. Este método só usa apenas duas linhas, a mais antiga e a mais recente, para o cálculo dos recuos e utiliza a seguinte expressão:

$$EPR = \frac{NSM}{year_2 - year_1} \quad (1)$$

em que NSM é a distância entre a linha mais antiga com a mais recente.

Dado que apenas são usados os dados das datas extremas, todas as outras informações são completamente omitidas, o que impede a observação de variações das taxas de recuo ao longo do tempo. A maior desvantagem deste método é que se um ou mais pontos finais são erróneos, a taxa de erosão calculada pode ser imprecisa (Genz *et al.*, 2007). A escolha deste método estatístico deve-se ao facto de neste estudo só existirem duas fontes de informação de anos diferentes.

Com a obtenção das taxas de recuo das arribas de cada transecto, atribui-se um erro associado a cada um dos transectos, erro é resultante da espacialização e avaliação do processo de georreferenciação, tal como anteriormente referido. Assim, os valores negativos assumiram-se automaticamente como recuos, os valores positivos (acrecção) que se encontram dentro da elipse do erro associado assumem-se como valores de estabilidade, atribuindo-lhes o valor de 0 (zero). Esta atribuição é feita porque se considera o critério geomorfológico na análise do erro, uma vez que não se sabe o comportamento das arribas ao longo do período estudado. Os valores positivos que excedem a elipse do erro associado não são considerados neste estudo.

A análise da espacialização dos recuos obtidos ao longo da área de estudo foi efetuada através da adoção de uma tipologia de polígonos de igual dimensão, com o intuito de realizar uma maior aproximação à realidade da área de estudo. Estes polígonos foram construídos com base na fotointerpretação dos ortofotomapas de 2010, através do qual foram demarcados os seus limites superior e inferior, correspondendo estes às linhas do topo e de base das arribas, respetivamente. Os limites laterais foram traçados de acordo com os perfis obtidos através do *software DSAS*, com troços de aproximadamente 100 m de largura cada um. Para cada

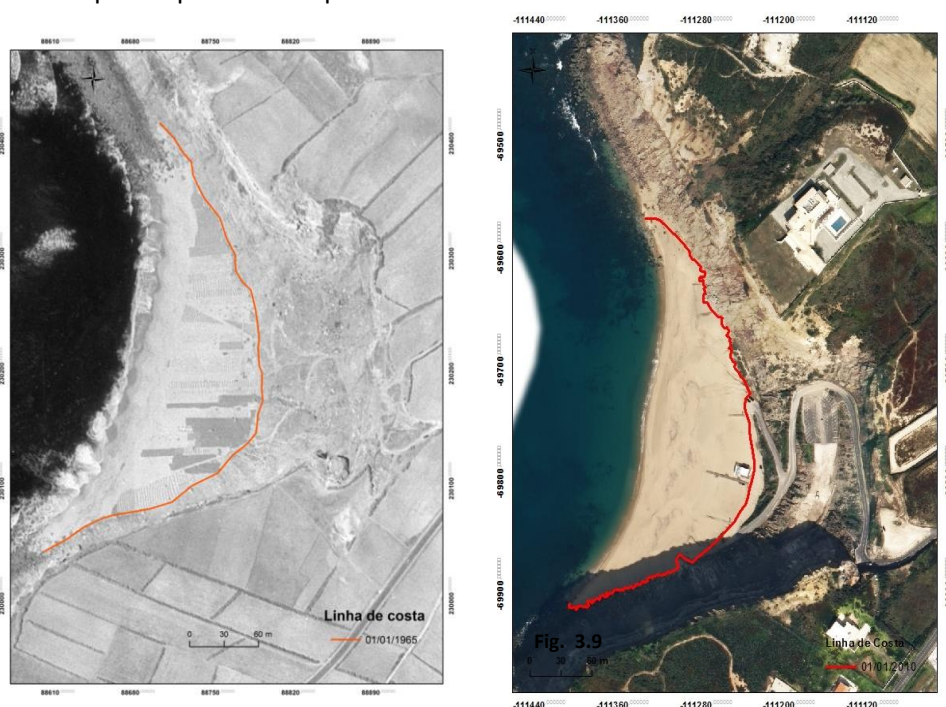
polígono foram contabilizados os recuos mais elevados de acordo com o valor dos perfis traçados pelo *DSAS*, e para além disso, foram somente considerados os valores dos perfis que se encontram perpendiculares à linha do topo de arriba.

3.4. Indicadores de recuo ou acreção de praias

Com o intuito de estudar a evolução da lc nos sistemas arenosos na área de estudo, optou-se pela escolha de vários indicadores, uma vez que não existe um único indicador passível de se aplicar em todos os casos de estudos, optando-se pela utilização dos diversos indicadores referidos por Boak and Turner (2005).

Os sistemas de praia da área de estudo, tal como anteriormente afirmado, são caracterizados por conter uma tipologia variada. Posto isto, os indicadores utilizados poderão ou não variar de acordo com a escala temporal estudada, uma vez que a área de estudo encontra-se, atualmente, sob influência antrópica neste tipo de sistemas.

O indicador da base da arriba não se constitui como um indicador muito claro porque a sua posição de base pode ser distorcida pelos depósitos existentes e por conter uma morfologia específica, como se referiu. Apesar destas desvantagens, optou-se pela sua utilização na Praia da Calada, no período temporal de 1965 e parcialmente em 2010 por se encontrar sob influência antrópica (Figura 3.9 e 3.10), parcialmente na praia de São Lourenço para ambos os períodos temporais, na praia dos Coxos também em ambos os períodos temporais e na praia da Baleia para o período temporal de 1965.



Figuras 3.9 e 3.10: Exemplo de aplicação do indicador da base de arriba para o período temporal de 1965 e 2010 na praia da Calada

Para as outras áreas de estudo, foi utilizado o indicador de linha de vegetação e de linha de vegetação dunar. Este último define-se por ser um bom indicador de erosão (Boak and Turner, 2005) e constitui-se como "a característica costeira que melhor define a transição entre o domínio das ondas e do vento predominantes, não exibindo as mudanças a curto (ex. marés) e a médio (ex. sazonalidade) prazo" (Ferreira *et al.*, 2006). Estes indicadores foram aplicados na área central da praia de São Lourenço para ambos os períodos em análise, na praia de Ribeira d'Ilhas em 1965 e na sua maioria em 2010 (Figura 3.11) e na praia da Foz do Lizandro (Figura 3.12 e 3.13), também para ambos os períodos em análise.

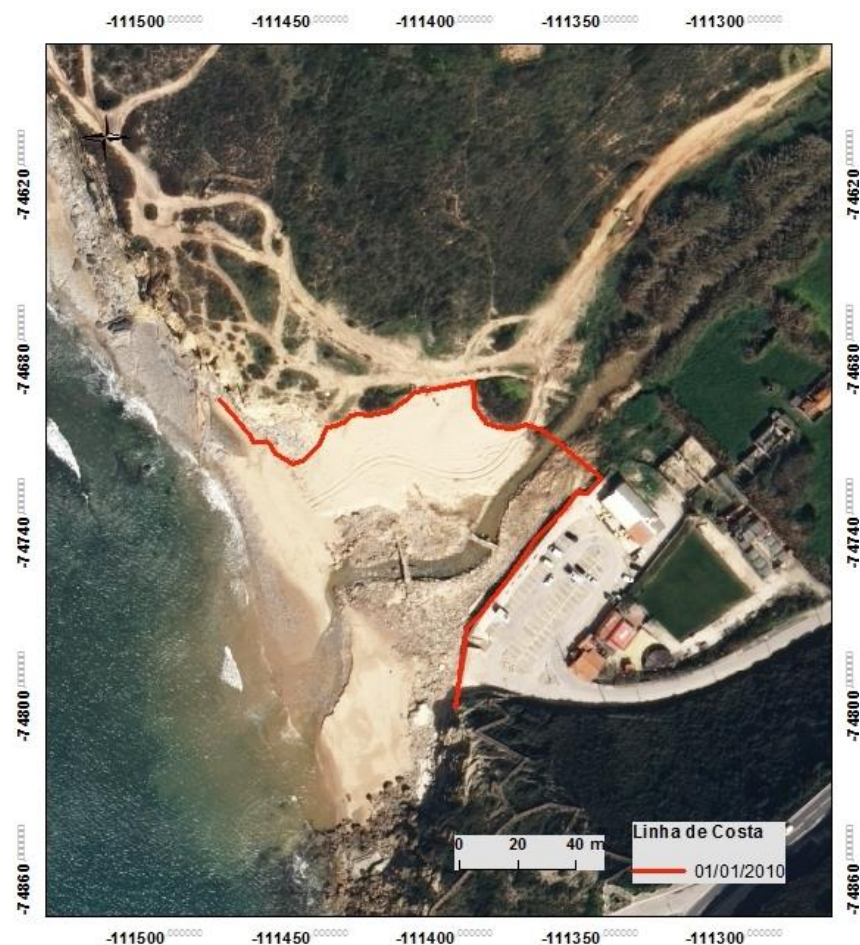


Figura 3.11: Exemplo de aplicação do indicador de linha de vegetação na praia de Ribeira d'Ilhas no período temporal de 2010

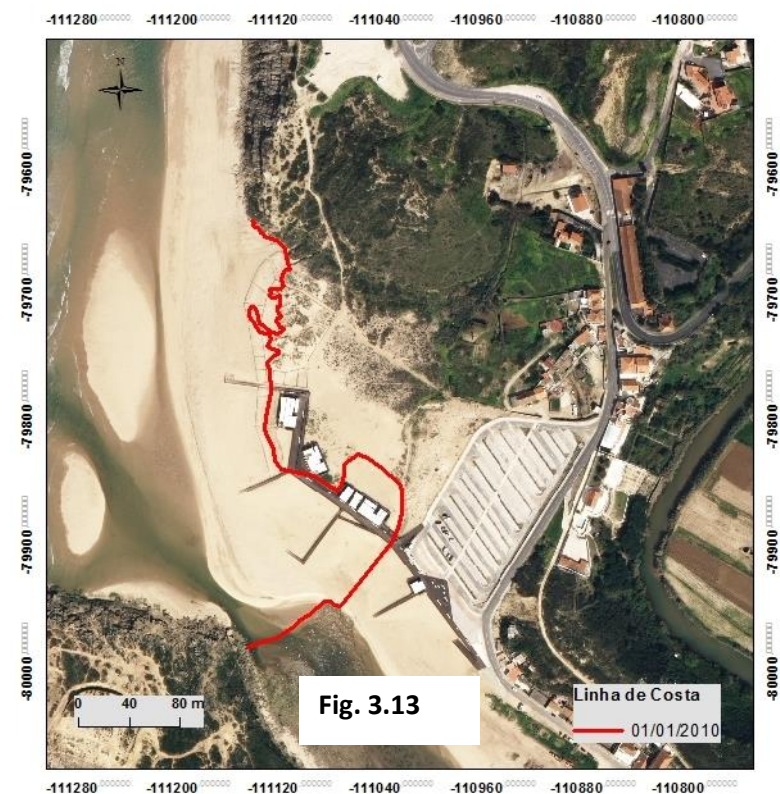
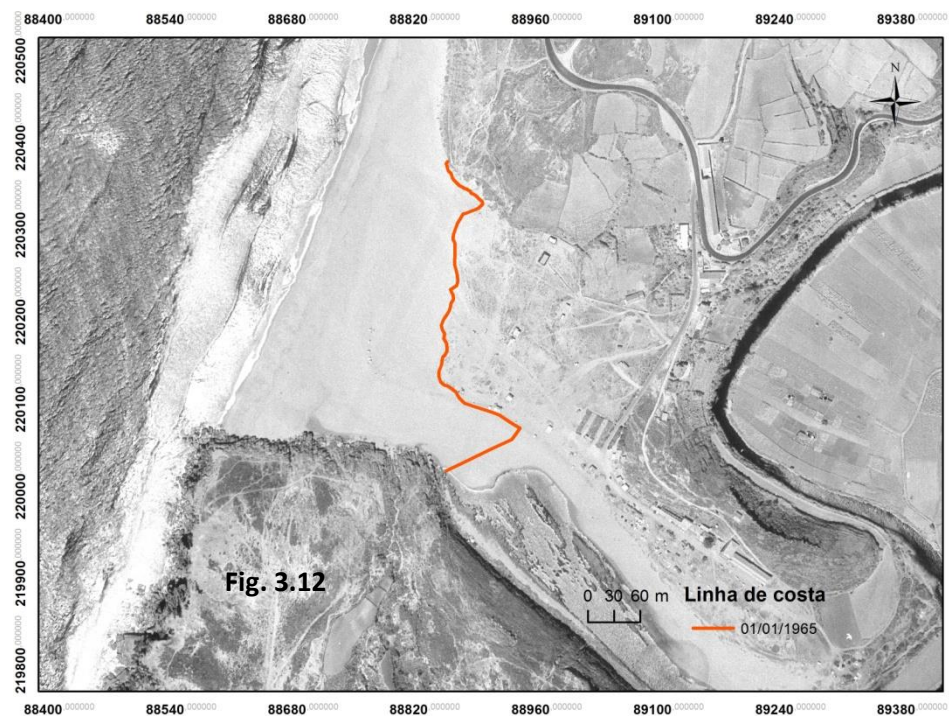


Figura 3.12 e 3.13: Exemplo de aplicação do indicador de linha de vegetação dunar na praia da Foz do Lizandro para os períodos de 1965 e 2010

O último indicador utilizado foi o de “estrutura de proteção do litoral” e, segundo Boak and Turner (2005), este indicador é previsivelmente estático. Foi aplicado à praia do Algodio, uma vez que esta praia, tanto no período temporal de 1965 como no de 2010, já se encontrar sob influência antrópica (Figura 3.14).



Figura 3.14: Exemplo de aplicação do indicador de estrutura de proteção do litoral na praia do Algodio para o período temporal de 2010

Para o cálculo das taxas de recuo ou acreção foi também utilizado o *software DSAS*, sendo este, tal como afirmado anteriormente, uma extensão do programa *ArcGis*.

A linha de base foi construída paralela às linhas de costa demarcadas, mantendo a mesma equidistância em cada setor e, por isso, a sua posição terá influência na orientação dos perfis obtidos em cada setor (Thieler *et al.*, 2009).

Tendo em conta a escala espacial para cada praia ou para cada sector, foram construídos, em média, 10 transectos com uma equidistância de 50 m, sem conter nenhum erro associado (Figura 3.15).

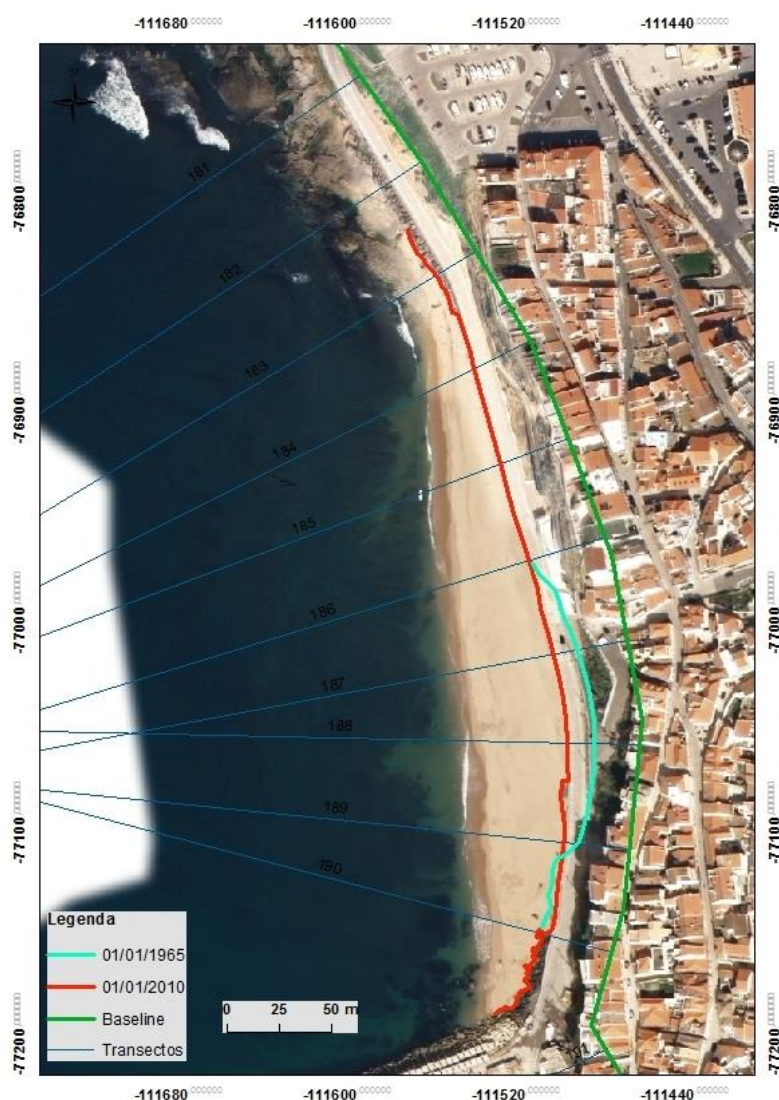


Figura 3.15: Excerto do ortofotomapa de 2010, com a representação da linha de costa para os anos de 1965 e 2010, da linha de base e dos transectos na praia do Algodio

O método estatístico utilizado para o cálculo, tal como ocorre nas arribas, foi o *EPR*, uma vez que neste estudo só existem duas fontes de informação de anos diferentes.

3.5. Delimitação das faixas de salvaguarda nos sistemas litorais

A zona costeira encontra-se a 10 m acima do nível do mar e contém aproximadamente 10% da população mundial, por isso, não é surpreendente o potencial impacto da subida do nível médio do mar, suas consequências e a necessidade de medidas de mitigação (Brooks and Spencer, 2012).

Assim, é importante, com o intuito de gerir os sistemas litorais, ter acesso a informações precisas e fiáveis acerca das suas taxas de recuo, definir-se uma tendência desde o passado até

à atualidade, bem como prever as suas taxas para o futuro. No entanto, esse desenvolvimento carece da aplicação de métodos analíticos para a sua previsão (Brooks and Spencer, 2012).

3.5.1. Arribas

Tendo em conta o exposto acima, Brooks and Spencer (2012) e Castedo *et al.* (2015) referem vários modelos existentes de aplicação nas arribas:

- *Lee-Clark model*: Estima a futura linha do topo de arriba, multiplicando a média dos recuos obtidos por um determinado período de tempo (T) e é expressa pela seguinte fórmula:

$$\text{Recession by year } A = (\text{Average rate} \pm \text{Standard Deviation}) \times T_{\text{years}} \quad (2)$$

- *Leatherman model*: baseia-se na regra de Brunn para prever a futura linha do topo de arriba e esta depende das projeções dos diferentes cenários relacionados com a subida do nível médio do mar e das taxas de recuo. A sua fórmula é expressa:

$$R_2 = S_2 \times \left(\frac{R_1}{S_1} \right) \quad (3)$$

em que R_2 é a futura linha do topo de arriba (m/ano); S_2 é a projeção da subida do nível do mar (m/ano); R_1 é a taxa de recuo no período em estudo; S_1 é o valor da subida do nível médio do mar durante o período em estudo.

- *Sunamura model*: R_1 representa a função da energia das ondas e a resistência do material; S_2 caracteriza a projeção da subida do nível do mar (mm/ano); S_1 é o valor da subida do nível médio do mar durante o período em estudo; h^* designa a profundidade de fecho (m); L^* significa comprimento do perfil transversal.

$$R_2 = R_1 + \frac{(S_2 - S_1) \times (R_1 + L^*)}{h^*} \quad (4)$$

- *Modified Bruun Rule model*: A Regra de Brunn originalmente era aplicada em costas baixas em que os sedimentos permaneciam no perfil ativo, cobrindo a plataforma rochosa de sopé (Brunn, 1962 *in* Books and Spencer, 2012). Este modelo foi bastante criticado, sendo que uma das críticas prende-se com o facto de que esta regra subestima o recuo da linha de costa. (Nicholls and Stive, 2004 *in* Books and Spencer, 2012). Tal facto é ultrapassável pela utilização de outros parâmetros como a altura da arriba (B) e a quantidade suficiente de sedimentos provenientes da arriba para permanecerem no perfil ativo (P). Define-se como a percentagem de areia e gravilha provenientes da face da arriba sendo que estes sedimentos são dificilmente

mobilizáveis permanecendo no perfil ativo. Este modelo pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$R_2 = R_1 + \frac{(S_2 - S_1) \times L^*}{P \times (B + h^*)} \quad (5)$$

em que R_2 indica a futura posição da linha do topo de arriba (m/ano), S_2 designa as futuras projeções do nível médio do mar (mm/ano), R_1 constitui os recuos da linha do topo de arriba (m/ano) no período estudado e S_1 representa o nível médio do mar durante o período de estudo dos recuos da linha do topo de arriba (mm/ano), h^* designa a profundidade de fecho (m), L^* significa comprimento do perfil transversal da praia, P quantidade suficiente de sedimentos provenientes da arriba para permanecerem no perfil ativo (% de areia e gravilha), B declive da arriba (m).

- *Scape (Soft Cliff And Plataforma Erosion) model*: foi desenvolvido e aplicado para arribas que recuam por movimentos de massa impulsionados pela erosão da base da arriba. A plataforma rochosa de sopé é assumida como um regulador central do recuo da costa e este modelo enfatiza a importância do seu surgimento ao longo do tempo. É expresso pela seguinte fórmula:

$$R_2 = R_1 \times \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} \quad (6)$$

em que R_2 indica a futura posição da linha do topo de arriba (m/ano), S_2 designa as futuras projeções do nível médio do mar (mm/ano), R_1 constitui os recuos da linha do topo de arriba (m/ano) no período estudado e S_1 representa o nível médio do mar durante o período de estudo dos recuos da linha do topo de arriba (mm/ano).

Neste trabalho optou-se por utilizar dois modelos: o *Leatherman model* e o *Scape model*, devido a serem modelos simples, fáceis de utilizar, abrangerem os dados disponíveis e os parâmetros da dinâmica marinha (subida do nível do mar no período de estudo e as futuras projeções) e da dinâmica das arribas (recuos). No entanto, adaptou-se o *Scape model* à área de estudo, englobando os movimentos de massa e erosão hídrica, o que permite compreender a evolução das arribas, constituindo-se, assim, como uma indicação da sua dinâmica. O modelo aplicado ao concelho de Mafra é expresso pela seguinte fórmula:

$$R_2 = (R_1 - D) \times \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} \quad (7)$$

em que:

R_2 indica a futura posição da linha do topo de arriba (m/ano)

R_1 constitui os recuos da linha do topo de arriba (m/ano) no período estudado

D representa a Dinâmica e é determinada por: $D = (\text{número de processos} / \text{área})$

S_2 designa as futuras projeções do nível médio do mar (mm/ano), segundo o IPCC (*Intergovernmental Panel Climate Change*)

S_1 representa o nível médio do mar durante o período de estudo dos recuos da linha do topo de arriba (mm/ano), de acordo com Antunes e Taborda, 2009, para o marégrafo de Cascais.

Verificação do modelo

Para a validação do modelo realizou-se uma correlação entre o resultado dos recuos calculados de 1965 para 2010 e o resultado dos recuos obtidos para 2050, na qual a sua correlação foi de 0,99999543, uma vez que estas projeções foram realizadas com base em modelos teóricos e, estatisticamente, o resultado da correlação é considerado muito forte (Figura 3.16).

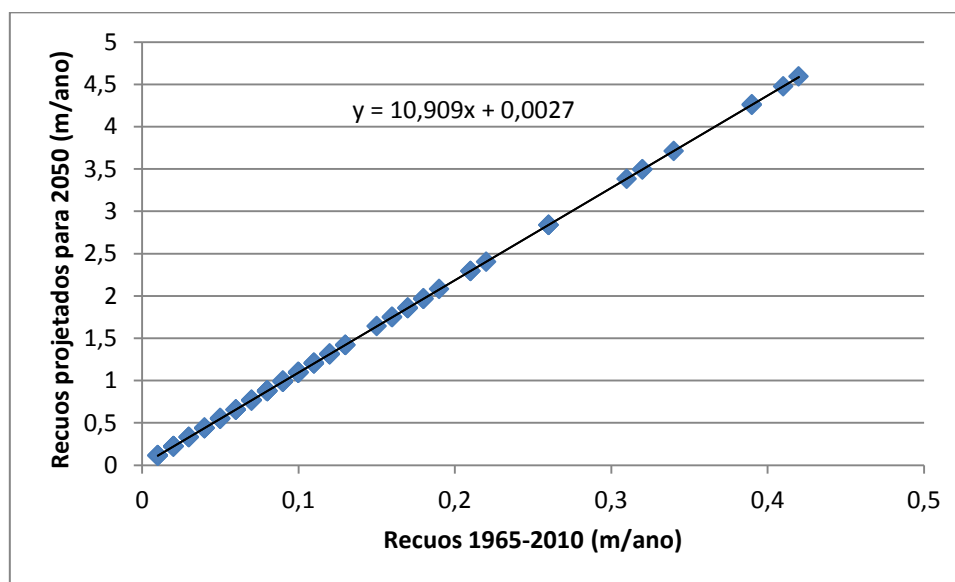


Figura 3.16: Representação da dispersão dos recuos calculados para o período temporal de 1965-2010 em relação aos recuos projetados para 2050

3.5.2. Praias

A projeção das futuras linhas nos sistemas praia tem em conta a sua evolução histórica e, tal como ocorre nas arribas, é realizada por modelos analíticos.

A maior parte destes modelos, como é o caso do *Leatherman model* (Castedo *et al.*, 2015), que pode ser aplicado tanto para praias como para arribas, só contempla as taxas de recuo existentes. Por isso, neste estudo, optou-se pela utilização do modelo utilizado por Ferreira *et al.* (2006) que tem em consideração as taxas de acreção, de estabilidade e de recuo das praias, bem como diversas variáveis referentes a este tipo de sistema, tais como a profundidade de fecho e a altura máxima da praia alta, para além das outras variáveis consideradas no *Leatherman model*.

Para além das diversas vantagens enumeradas, salienta-se ainda que este modelo foi somente aplicado em sistemas praia e também contabiliza os eventos extremos (temporais) e a cota de espraio. A única desvantagem a ser evidenciada é que este modelo foi testado para praias contínuas e, relembra-se, que neste estudo as praias existentes são encastradas.

Assim, o modelo utilizado por Ferreira *et al.* (2006) é composto por três fases:

- i. A evolução da linha de costa e as futuras suas posições;
- ii. Ajuste para o ASLR (*Accelerating Sea-Level Rise*);
- iii. Avaliação de eventos extremos (temporais), na qual se encontra associada a linha de costa instantânea e o *run-up* e a cota máxima de espraio.

Neste trabalho serão calculadas todas as fórmulas para 2020, 2030 e 2050, na qual S_{40} representa o último período mencionado. Nesta metodologia serão apresentadas as fórmulas para 2050, no entanto, estas fórmulas serão as mesmas para todos os anos estudados, mudando somente o período temporal.

Na primeira fase calcula-se as futuras posições da linha de costa com recurso à seguinte fórmula:

$$S_{40} = S_0 + SER \times 40 \quad (8)$$

em que:

S_{40} indica a futura linha de costa

S_0 designa a atual posição da linha de costa

SER caracteriza as taxas de evolução da linha de costa (*Shoreline Evolution Rate*)

40 representa o período temporal a ser estudado

A fórmula acima mencionada só é aplicada quando existem taxas de erosão, quando ocorre acreção ou estabilidade (S_0).

Na segunda fase será acrescentada, às taxas de recuo, a subida do nível médio do mar (NMM) tendo em conta o presente e o futuro (neste caso para 40 anos). Esta fase é dividida em três etapas: (i) calcula-se a subida do nível médio do mar esperado para o período em estudo; (ii) aplicam-se a regra de Brunn à subida do nível do mar aplicado na etapa anterior; (iii) aplica-se os cálculos anteriores aos resultados da primeira fase.

Assim, a primeira etapa é expressa pela seguinte fórmula:

$$SLR_a = SL_{40} - SLR_p \times 40 \quad (9)$$

em que:

SLR_a representa o ajuste da variável à ASLR

SL_{40} designa a subida do nível médio do mar para aqui a 40 anos

SLR_p indica a subida do nível médio do mar na atualidade

40 caracteriza o período temporal a ser estudado

A segunda etapa é expressa pela seguinte fórmula:

$$R_a = \frac{(SLR_a \times L)}{(h + D)} \quad (10)$$

em que:

R_a aplicação da regra de *Brunn* com o ajuste da variável à ASLR

SLR_a representa o ajuste da variável à ASLR

L caracteriza a distância horizontal do perfil de praia entre o limite mais elevado e o mais baixo (m), de acordo com a carta batimétrica

h indica a profundidade de fecho do perfil de praia (m NMM), segundo Lapa *et al.* (2012) in Silva *et al.* (2013)

D designa a altura máxima da praia alta (m NMM), de acordo com Silva *et al.* (2013)

A terceira etapa contém fórmulas diferentes para cada tipo de taxa. Assim, no caso de ocorrer erosão, a fórmula é expressa por:

$$S_{40c} = S_{40} + R_a \quad (11)$$

No caso de ocorrer acreção optou-se pelo cenário A, uma vez que este cenário é aplicado quando os valores das taxas de acreção são superiores aos efeitos da subida do nível do mar. Assim, a fórmula é expressa por:

$$S_{40c} = S_{40} = S_0 \quad (12)$$

A terceira fase, como foi referida anteriormente, encontra-se subdividida em duas etapas: (i) erosão induzida por temporal; (ii) cota máxima de espraio.

Aa primeira etapa, inicia-se pelo cálculo do *Convolution model* (Kriebel and Dean, 1993 in Ferreira *et al.*, 2006). Este modelo permite estimar o recuo da linha de costa induzida por temporais com um determinado período de retorno. A sua fórmula é expressa por:

$$R_{40} = (SM + 0,068 \times H_b) \times \frac{W_b}{B + d_b} \quad (13)$$

em que:

B designa a cota média da região erodida (m NMM)

d_b caracteriza a profundidade na rebentação (m NMM)

H_b define a altura na rebentação (m), através do método de *Gumbel*

SM indica a sobrelevação meteorológica (m), segundo Andrade *et al.* (2006), para o marégrafo de Cascais

W_b representa a largura do perfil ativo (m), de acordo com a carta batimétrica

R_{40} recuo máximo expectável da linha de costa (m)

A variável profundidade de rebentação é calculada a partir da seguinte expressão, em que esta relaciona esta variável com a altura da onda na rebentação (Silva *et al.*, 2013):

$$d_b = 1,28 \times H_b \quad (14)$$

Assim, o cálculo das futuras projeções da linha de costa em sistemas praia em caso de temporal é expresso por:

$$S_{40s} = S_{40c} + R_{40} \quad (15)$$

Posteriormente, calcula-se o *run-up* e este é expresso pela seguinte fórmula:

$$R_{max} = (H_{so} \times L_o)^{0,5} \times \tan \beta \quad (16)$$

em que:

H_{so} representa a altura significativa da onda ao largo (m), de acordo com Trindade (2010)

L_o caracteriza o comprimento de onda ao largo (m), de acordo com Trindade (2010)

$\tan \beta$ indica o declive da face da praia, de acordo com Trindade (2010)

Os valores utilizados na fórmula acima mencionada foram extraídos a partir da bibliografia existente, da praia da Foz do Lizandro, uma vez que na área de estudo não existem bóias de referência.

A segunda etapa caracteriza-se pelo cálculo da cota máxima de espraio (CME). Esta depende da soma das subseqüentes componentes: (i) nível do mar (NM), sendo este determinado pela maré astronómica (MA) e somado à sobrelevação meteorológica (SM); (ii) capacidade vertical do espraio subtraído pelo *run-up*.

Assim, a fórmula é expressa por:

$$\begin{aligned} NM &= MA + SM \\ CME &= NM + R_{max} \end{aligned} \tag{17}$$

em que:

MA segundo os valores da Tabela de Marés de 2010-2015 do Instituto Hidrográfico

SM segundo Andrade *et al.* (2006), para o marégrafo de Cascais

Para o cálculo da MA, foi necessário subtrair o valor de NMM de 2,08 m porque os valores da amplitude de maré são referentes ao Datum Zero Hidrográfico.

Relativamente à cartografia da cota máxima de espraio, neste só conseguimos afirmar em que sítio ocorrerá galgamento e não quantificar qual a área (zonamento) que será alagada. Tal facto é explicado por não conseguirmos quantificar a energia horizontal da coluna máxima de água que chega cota da duna e por conter morfologias diferentes.

Assim, para a representação do setor suscetível a galgamento foi criado um Modelo Digital de Terreno (MDT) que permite delimitar a coluna de água, tendo em conta o valor obtido na cota máxima de espraio. Para a criação do MDT foram utilizadas, como fonte de informação, as curvas de nível com uma equidistância de 5 m à escala 1:10 000, do ano de 1995 da Direção Geral do Território (DGT).

Verificação do modelo

Para a validação do modelo utilizado por Ferreira *et al.* (2006) realizaram-se duas correlações. A primeira teve em conta os recuos obtidos para o período temporal de 1965-2010 e os recuos

estimados para 2050, sem incluir a existência de temporais. A segunda teve em conta, tal como a primeira, os recuos obtidos para o período temporal de 1965-2010 e os recuos estimados para 2050 na qual são introduzidos os temporais.

A primeira correlação conteve um resultado de 0,9972, tal como é demonstrado pela figura 3.17 e a segunda obteve um resultado de 0,8348, tal como é comprovado pela figura 3.18. Estatisticamente, ambas as correlações são consideradas fortes apesar de, tal como salientado, este modelo ter sido aplicado para praias contínuas.

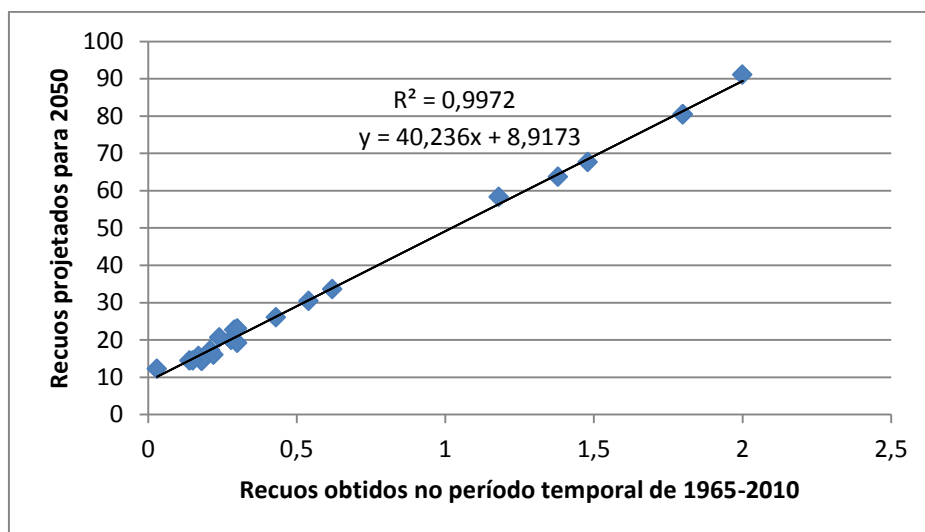


Figura 3.17: Representação da dispersão dos recuos calculados para o período temporal de 1965-2010 em relação aos recuos projetados para 2050, sem contabilização dos temporais.

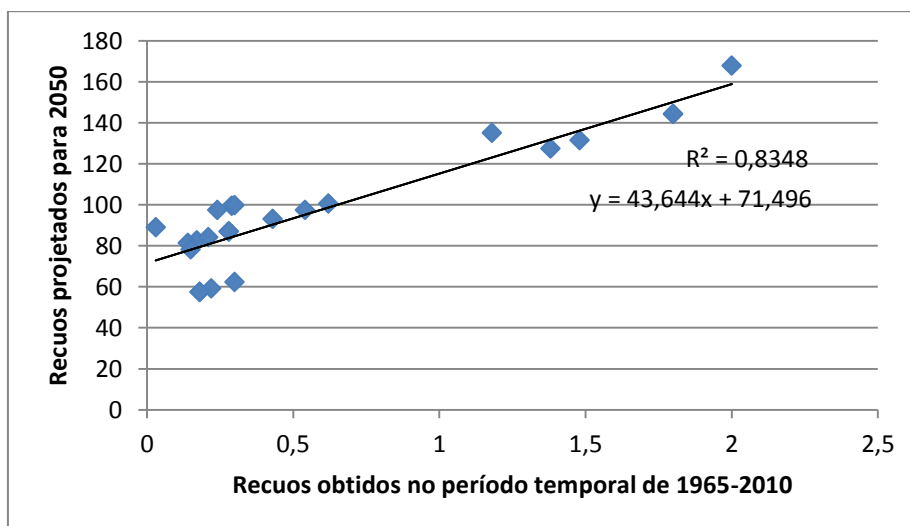


Figura 3.18: Representação da dispersão dos recuos calculados para o período temporal de 1965-2010 em relação aos recuos projetados para 2050, com contabilização dos temporais.

3.6. Critérios de identificação dos elementos expostos

Com o intuito de identificar os elementos expostos, utilizou-se a Carta de Ocupação do Solo (COS) do concelho de Mafra e a Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI).

Julião *et al* 2009 considera como elementos expostos a população, as propriedades, as estruturas, as infraestruturas, as atividades económicas, entre outros. Estes elementos estão sujeitos (potencialmente afetáveis), num dado território, a um perigoso processo natural, tecnológico ou misto.

A maioria das nomenclaturas usadas para cartografia ou estatística relacionadas com o espaço utiliza terminologias de uso do solo dirigidas para a compilação das atividades humanas. A COS tem um papel essencial no que toca ao ordenamento do território. A utilização deste tipo de cartografia, permite avaliar a extensão, a distribuição e a relação espacial de classes de ocupação ou de uso do solo (IGP, 2010).

A COS do concelho de Mafra de 2009 resultou de um projeto de “Execução de Levantamento de Ocupação do Solo de Mafra”. Esta cartografia foi criada à escala 1:10 000, utilizando como base geral os ortofotomapas de 2005 e 2007, as Cartas Militares à escala 1:25 000 e os limites de freguesia do concelho de Mafra, a carta *Corine Land Cover (CLC)* de 2000 e a COS 1990 e o trabalho de campo que consistiu no levantamento das características do terreno e na validação do trabalho de fotointerpretação.

A utilização da COS 2009 do concelho de Mafra em vez da COS de 2007 a nível nacional, deve-se ao facto da informação ser a mais atualizada, uma vez que, apesar das fontes de informação de base serem iguais, existem diferenças na utilização dos ortofotomapas, dado que a COS de 2007 utiliza os ortofotomapas de 1995 e 2005 (IGP, 2010). Esta cartografia de base permite uma visualização do uso do solo e morfologia dos terrenos sem distorções.

A COS do concelho de Mafra encontra-se agrupada por quatro classes (A, B, C e D) conforme demonstra o quadro 3.3 e a figura 3.19.

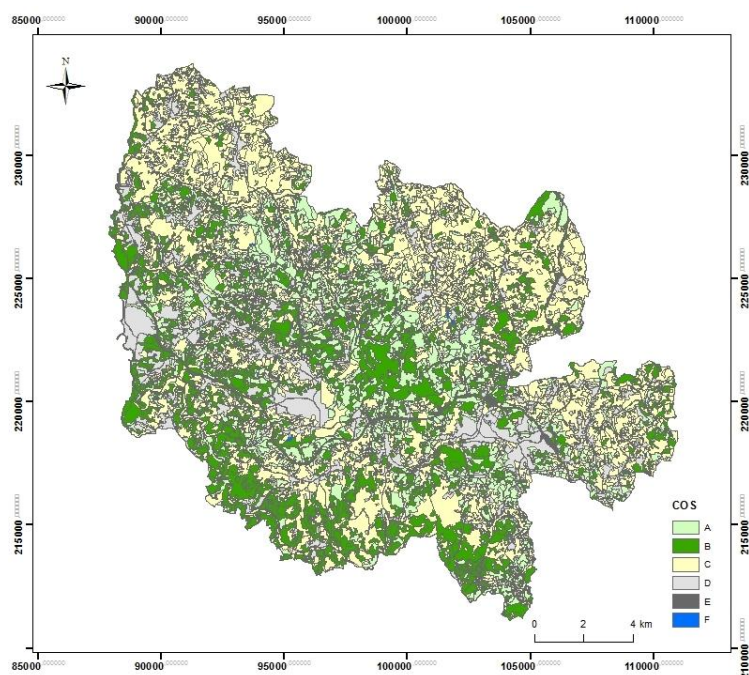


Figura 3.19: COS de 2009 do concelho de Mafra com as respetivas correspondências (ver quadro 3.2)

Quadro 3.2

Nomenclatura COS 2009

Código	Descrição	Correspondência (COD_TIPO_OCUP)
1	Eucalipto - povoamento puro	A
2	Pinheiro bravo - povoamento puro	A
3	Pinheiro manso - povoamento puro	A
4	Quercus sp - povoamento puro	A
5	Outros - povoamento puro	A
6	Povoamento misto	A
7	Mato com porte arbóreo	B
8	Tojo - Mato	B
9	Urze - Mato	B
10	Silvas - Mato	B
11	Canas - Mato	B
12	Outros - Mato	B
13	Herbáceas	B
14	Sequeiro	C
15	Pomar/Vinha	C
16	Regadio	C
17	Outros - Agrícola	C
18	Edificado isolado	D
19	Edifício aglomerado	D
20	Rede viária	E
21	Corte Raso/Novas Plantações	A
22	Área ardida	A
23	Área de extração de inertes	B
24	Planos de Água	F
25	Litoral	B
26	Vegetação ripícola	B
27	Outras folhosas	A
28	Matos diversos	B
29	Improdutivos	D

Fonte: TTerra (2009)

Para cada uma das nomenclaturas utilizaram-se critérios de fotointerpretação (Quadro 3.3).

Quadro 3.3

Critérios de fotointerpretação para cada nomenclatura.

Descrição	Regras
Eucalipto - povoamento puro	Não se observa nenhuma regra em particular
Pinheiro Bravo - povoamento puro	
Pinheiro Manso - povoamento puro	
Quercus sp - povoamento puro	
Povoamento misto	
Mato com porte arbóreo	Na fotointerpretação assumem o código Outros - Mato (12), uma vez que não é possível diferenciar
Tojo -Mato	
Urze - Mato	
Silvas - Mato	
Canas - Mato	Só serão digitalizadas as manchas espacialmente mais representativas, isto é, poderão ser divisões de propriedade mas com uma largura significativa (igual ou superior a 10 metros), áreas ripícolas ou áreas superiores a 1 hectare
Outros - Mato	Não se observa nenhuma em particular
Herbáceas	Contemplar as áreas agrícolas abandonadas e pousio com mais de 1 ano. Isto é, áreas de pasto alto ou mistura de pasto com mato
Sequeiro	Áreas de plantação de sequeiro, sementeiras
Pomar/Vinha	Não se observa nenhuma em particular
Regadio	
Outros - Agrícola	Outras áreas agrícolas não especificadas anteriormente que contêm sistemas culturais mistos
Edificado Isolado	Considerar áreas impermeabilizadas com mais de 5 edifícios e menos de 10, distanciados entre si mais de 50 metros; Se o número de edifícios for menor, mas apresentem uma área impermeabilizada superior a 1 hectare; Quintas que apresentem poucos edifícios mas têm uma área impermeabilizada ou ajardinada espacialmente representativa
Edificado aglomerado	Ajustar aos limites dos perímetros urbanos; Mais de 10 edifícios que não distem entre si, mais de 50 metros
Rede viária	Contemplar somente as bermas das autoestradas (áreas de serviços e taludes), estradas nacionais e municipais e rede ferroviária; Não deve ser agregado às áreas sociais
Corte Raso/ Novas Plantações	Não se observa nenhuma em particular
Área ardida	
Exploração de inertes	
Planos de água	
Litoral	Contemplar as arribas e as praias
Vegetação ripícola	Não se observa nenhuma em particular
Outras folhosas	
Matos diversos	
Improdutivos	

Fonte: TTerra (2009)

A BGRI, administrada pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), permite conciliar as informações obtidas nos Censos, tanto geográfica como as variáveis estatísticas utilizadas, e implementá-las nos Sistemas de Informação Geográfica, permitindo uma integração da componente espacial dos dados obtidos.

Assim, utilizou-se esta ferramenta para a análise mais detalhada do tipo de edificado e de que população será afetada, tendo em conta as projeções dos modelos analíticos utilizados tanto para as praias como para as arribas.

Nas arribas, uma vez que, tal como abordado anteriormente, a utilização dos COS permitiu identificar que tipo de uso do solo será afetado, na BGRI analisou-se o número de indivíduos (total) e que tipologia de edificado seria afetado nas projeções das faixas costeiras para 2050.

Nas praias, para além do número de indivíduos e a tipologia do edificado como ocorre nas arribas, acrescentou-se à análise da BGRI, o tipo de material de construção do edificado. Designaram-se duas variáveis relativamente ao material de construção. A primeira, “edificado com placa” é constituída por betão armado e com placa. A segunda, “edificado sem placa” é constituída por pedra solta, sem placa e outros. Esta variável permite analisar como se comportará a erosão. A última variável utilizada também nesta análise foi o número de pisos, agrupando-se este em 1 ou 2 pisos e superior a 3 pisos. A escolha desta variável permite analisar como é que o edificado se comportará em termos de inundação.

Capítulo IV – Evolução dos sistemas litorais no concelho de Mafra

4.1. Os processos de evolução de arribas e os seus recuos

A instabilidade dos sistemas litorais de arribas, tal como referido no capítulo I, resultam da atuação de diversos processos, que dependem de diversos fatores de natureza geológica, morfológica, climática e hidrológica.

O recuo dos sistemas de arriba deve-se principalmente à erosão marinha, sendo que esta é a principal responsável pela evolução deste tipo de sistemas presentes no concelho de Mafra.

A ondulação caracteriza-se por ser um agente energético e devido a isso, juntamente com o regime de marés, modelam as diversas litologias presentes englobando os sedimentos erodidos nos sistemas praia-arriba e contribuem para a variação da deriva litoral (Oliveira, 2005).

As arribas sofrem uma evolução contínua de desgaste no sopé pela erosão marinha e de desagregação no sopé e alteração das faces expostas por exposição aos agentes de erosão marinha e subaérea. A ação prolongada da erosão de sopé, conjuntamente com a redução sucessiva da resistência dos materiais e a modificação das suas propriedades geotécnicas, proporciona as condições para a ocorrência de movimentos de massa (Figura 4.1) (ARH Tejo, 2009).

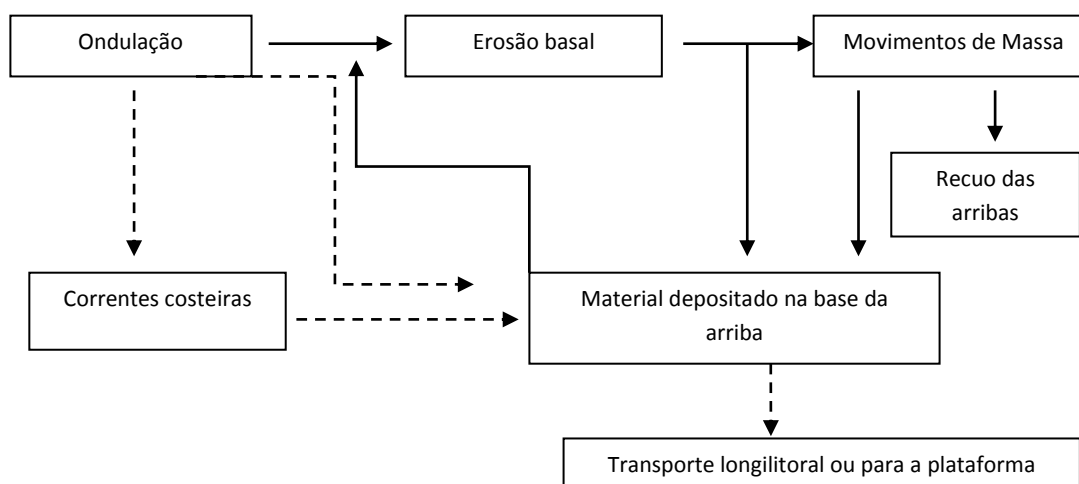


Figura 4.1: A evolução dos sistemas de arribas. A erosão basal pela ondulação é essencial para o recuo das arribas. Adaptado de Sunamura, 1983 in Sunamura, 1992

A figura 4.2 esquematiza a complexidade interna da erosão das arribas, bem como os inúmeros processos que caracterizam a evolução das áreas costeiras.

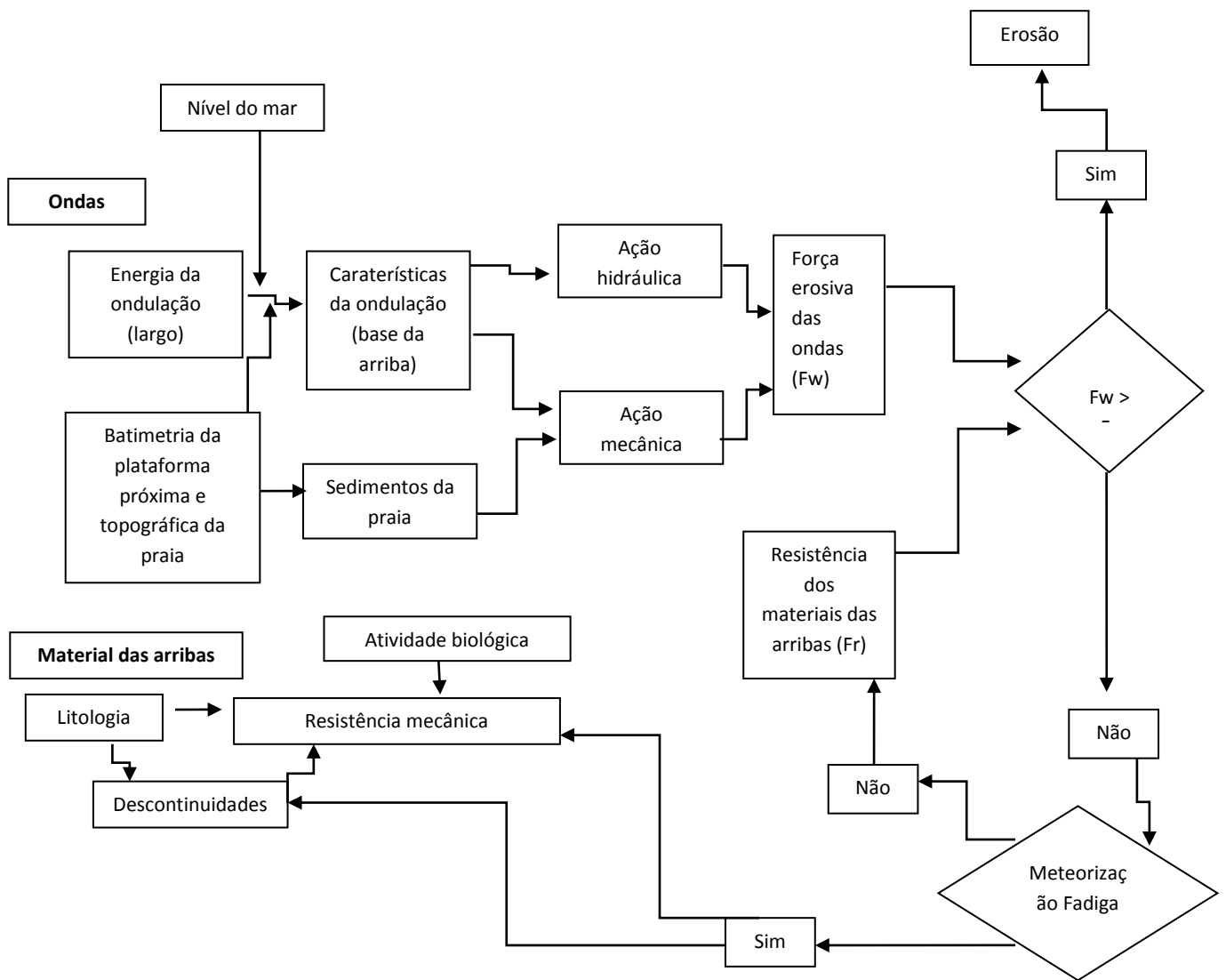


Figura 4.2: Fatores que afetam a erosão das arribas. Adaptado de Sunamura (1983) in Sunamura (1992)

A erosão basal pela ondulação é um dos fatores mais importantes da instabilidade das arribas, o que pode conduzir a uma sequência descontínua de movimentos de massa (Sunamura, 1992).

A erosão hídrica caracteriza-se pela remoção de material superficial, através da precipitação e/ou circulação de água. A quantidade de material erodido depende das características físico-químicas do solo, do coberto vegetal, do declive, do comprimento das vertentes e das práticas de conservação existentes (Henriques, 2009).

Observando o litoral rochoso do concelho de Mafra, verifica-se que este é caracterizado por movimentos de massa e por erosão hídrica (figura 4.3), os primeiros mais abundantes e de maior magnitude.

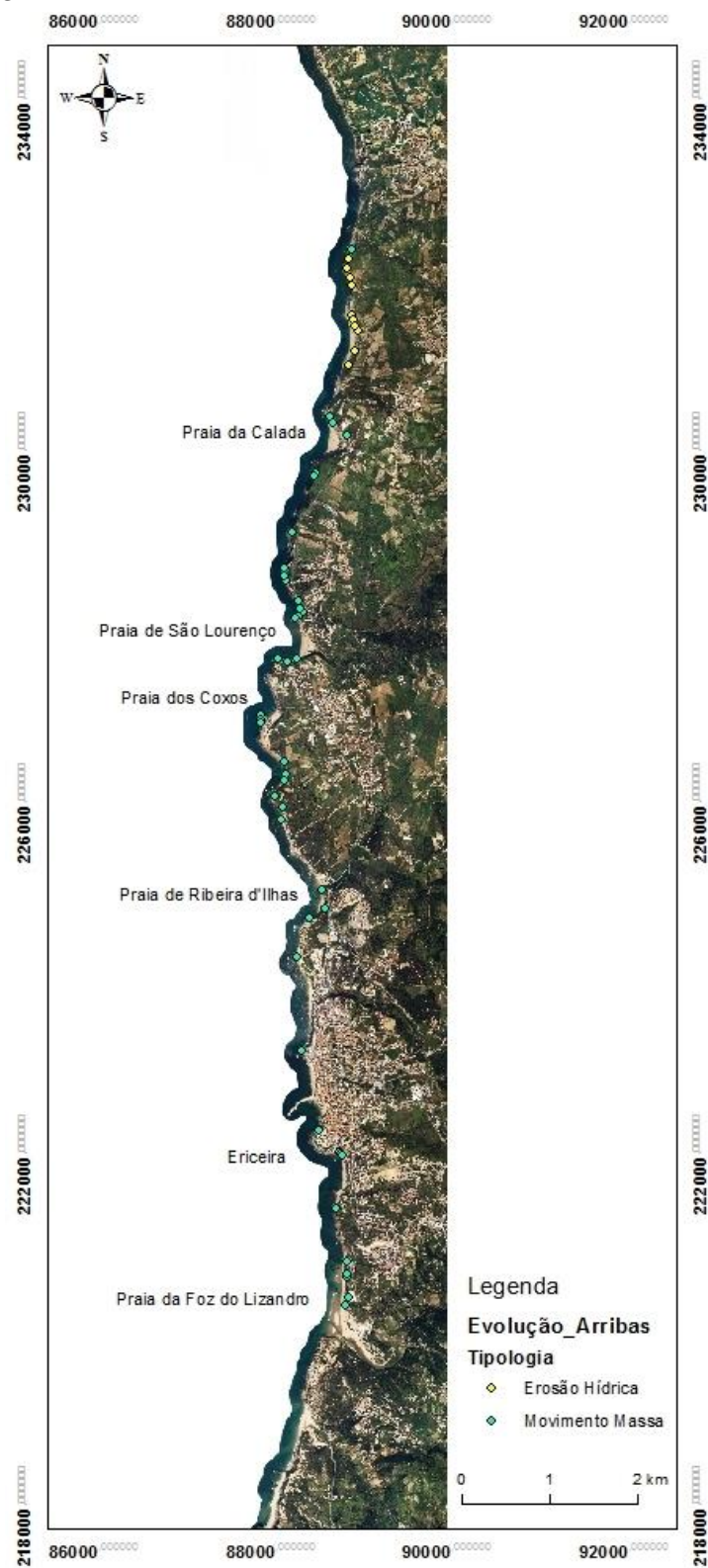


Figura 4.3: Exemplos da distribuição de movimentos de massa e erosão hídrica no litoral do concelho de Mafra

Os movimentos de massa são caracterizados por conterem uma velocidade de deslocamento elevada, embora variável, repetindo-se no mesmo local segundo intervalos de tempo mais longos (anos a séculos) durante o qual as arribas parecem estáveis. Quando ocorrem os movimentos de massa, os materiais deslocados tem como função proteger o sopé do ataque direto do mar. A resistência e o volume desses materiais bem como a energia da ondulação afetam a sua deslocação e determinam a sua granulometria nesse intervalo de tempo. Estando recuperadas as condições de erosão marinha sobre a arriba, esta foca-se no sopé do talude, provocando o seu sapamento. Este processo promove a abertura ou expansão de fendas de tração facilitando, assim, a ocorrência de outros processos instabilizadores expostos à presença e circulação da água nos depósitos (Marques e Andrade, 2009).

Nos diversos estudos existentes, o valor dos recuos médios variam de local para local e de acordo com a escala temporal (quadro 4.1).

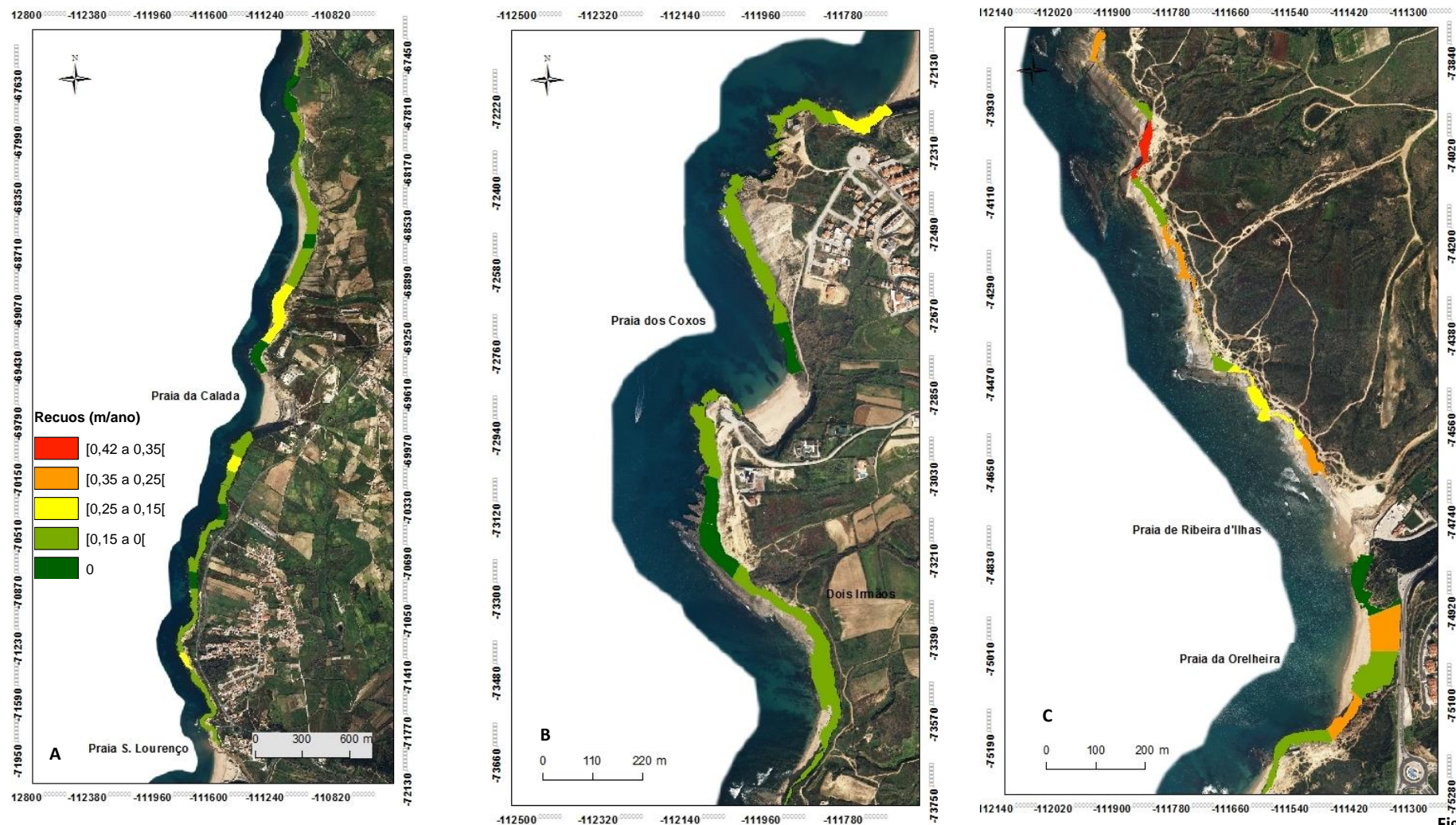
Quadro 4.1

Síntese bibliográfica da dinâmica de arriba próximo da área de estudo

Autor	Área de Estudo	Recuo Médio
Marques, 2009	POOC Alcobaça-Mafra	0,1 m/ano (44 anos)
Neves, 2008	Arriba do Gronho	0,02 m/ano (37 anos) *recuo máx: 0,27 m/ano (37 anos)
Neves, 2004	Pai Mogo a Peniche	0,14 m/ano

A avaliação da evolução das arribas neste concelho foi realizada num período temporal de 45 anos, desde 1965 a 2010, tendo como indicador o topo de arriba.

Tendo em conta sua evolução, as arribas do concelho de Mafra apresentam um recuo médio de 0,05 m/ano, apresentando um valor mínimo e máximo, cerca de 0 m/ano (estabilidade) e de 0,42 m/ano (recuo), respetivamente (figura 4.4, 4.5 e 4.6).



Figura

4.4: Espacialização dos recuos: a) entre o limite norte do concelho e a praia de São Lourenço, b) entre a praia de São Lourenço e Dois Irmãos e c) entre Dois Irmãos e a praia da Orelheira.

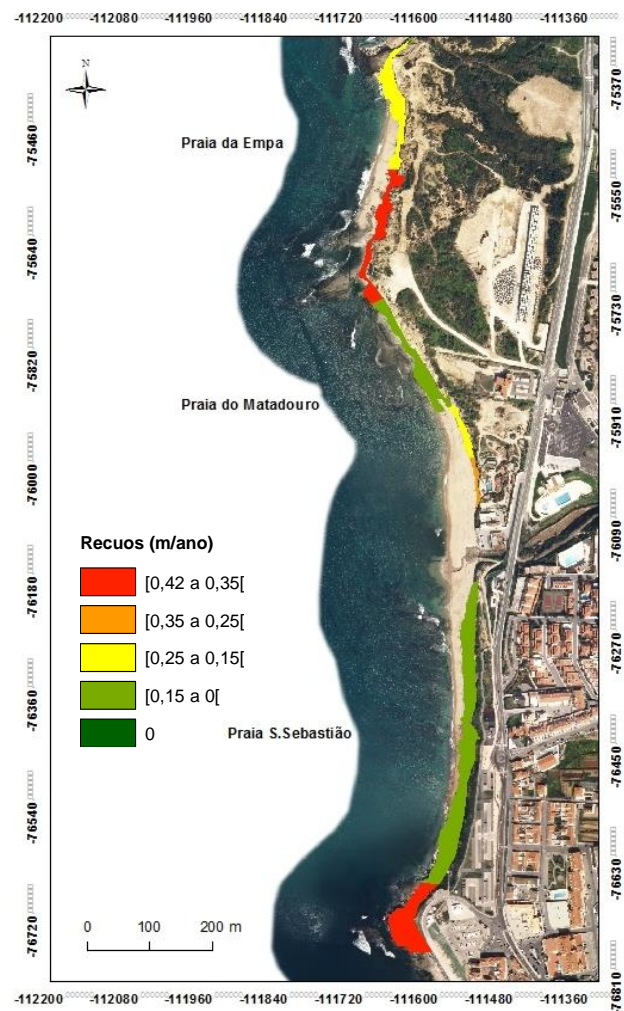


Figura 4.5: Espacialização dos recuos na praia do Matadouro e na praia de São Sebastião

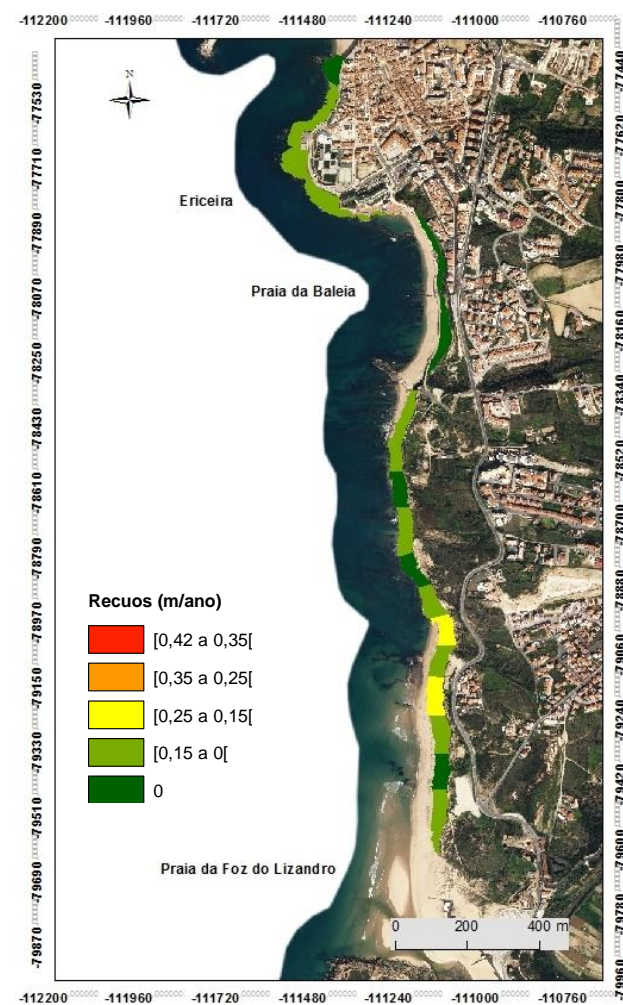


Figura 4.6: Espacialização dos recuos entre a Ericeira e a praia da Foz do Lizandro

A partir das figuras anteriores, podemos constatar que a distribuição espacial dos valores de 100 em 100 m (referido no capítulo III) não se comporta de modo uniforme. As arribas que apresentam uma variação de 0 m/ano representam o erro de georreferenciação associado às fotografias aéreas e ao ortofotomapa e a variação de 0 m/ano entre 1965 e 2010, que representam 18% do traçado da linha de costa.

Espacialmente, a variação de 0 m/ano referente ao erro de georreferenciação encontra-se nas arribas a norte da praia da Calada, nas arribas a sul da praia da Calada, nas arribas da praia dos Coxos (figura 4.7), nas arribas a sul da praia dos Coxos, nas arribas da praia da Orelheira (figura 4.7), na Ericeira e nas arribas da praia da Baleia.

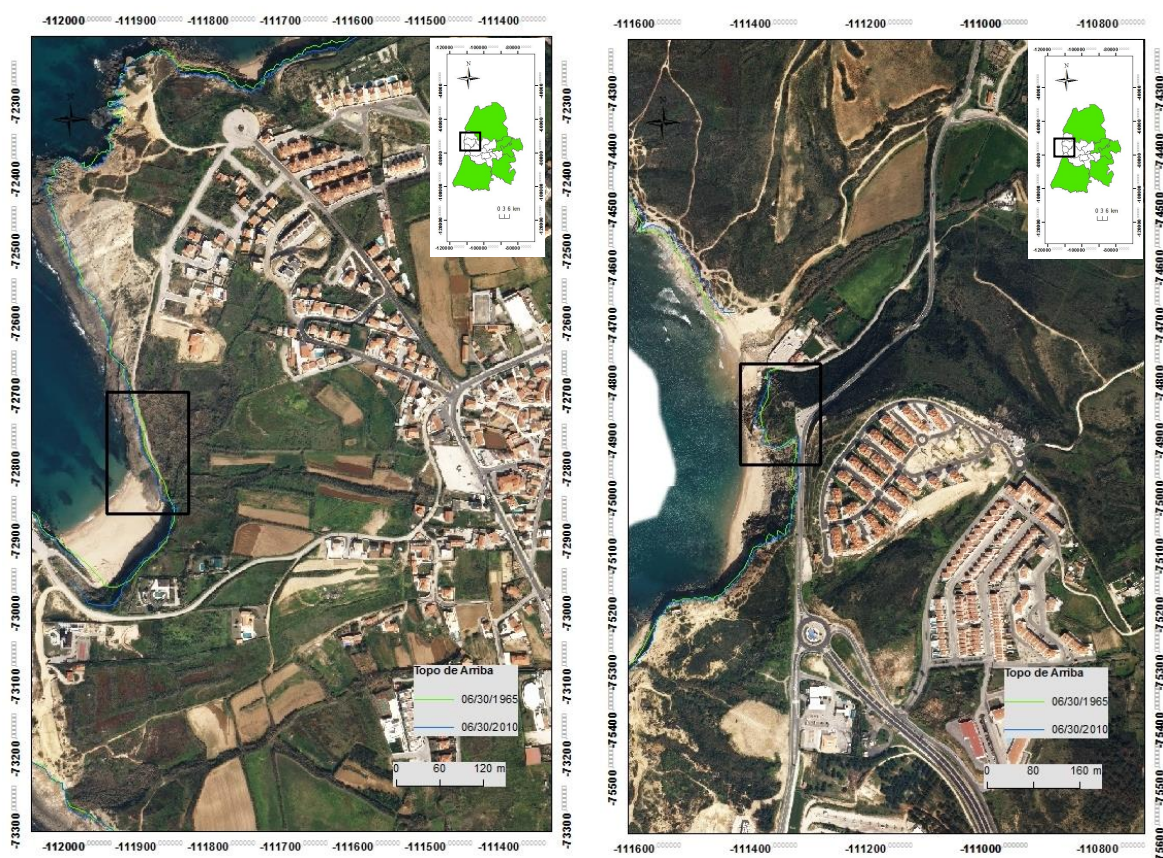


Figura 4.7: Exemplos de variação de 0 m/ano referente ao erro do processo de georreferenciação. **A:** Na praia dos Coxos. **B:** Na praia da Orelheira

A variação real de 0 m/ano entre 1965 e 2010 pode ocorrer em arribas afetadas por movimentos de massa, em que estes ocorrerem apenas na metade inferior da arriba, mantendo-se o seu topo inalterado (Figura 4.8).

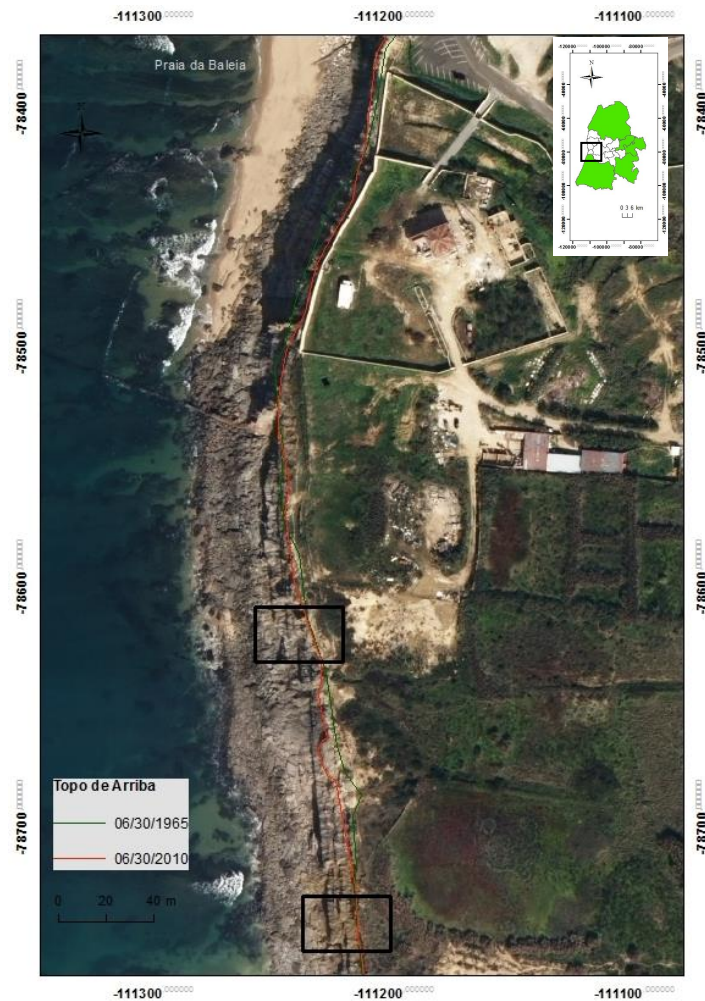


Figura 4.8: Exemplo de variação de 0 m/ano a sul da praia da Baleia

O intervalo de $[0,15 \text{ a } 0[\text{ m/ano}$ exibe 60% dos recuos, sendo a classe com maior predominância ao longo de todo o litoral estudado. O mesmo é justificado pela presença de litologia resistente a branda, tais como calcários, calcários margosos, argilas, margas, arenitos e conglomerados (Vallejo *et al.*, 2002; Neves, 2004). Neste intervalo, a partir da variação negativa de 0,1 a 0,15 m/ano, o outro fator que contribui para o recuo das arribas é o uso do solo com a presença de habitação e de rodovias que aumentam a sua instabilidade através da pressão e da vibração das mesmas (Sunamura, 1992; Ramos-Pereira, 2004). Estas variações negativas localizam-se: na praia de São Lourenço (Figura 4.9), na Ericeira (Figura 4.10), na praia da Foz do Lizandro (Figura 4.11) e na praia do Matadouro e na São Sebastião (Figura 4.12).

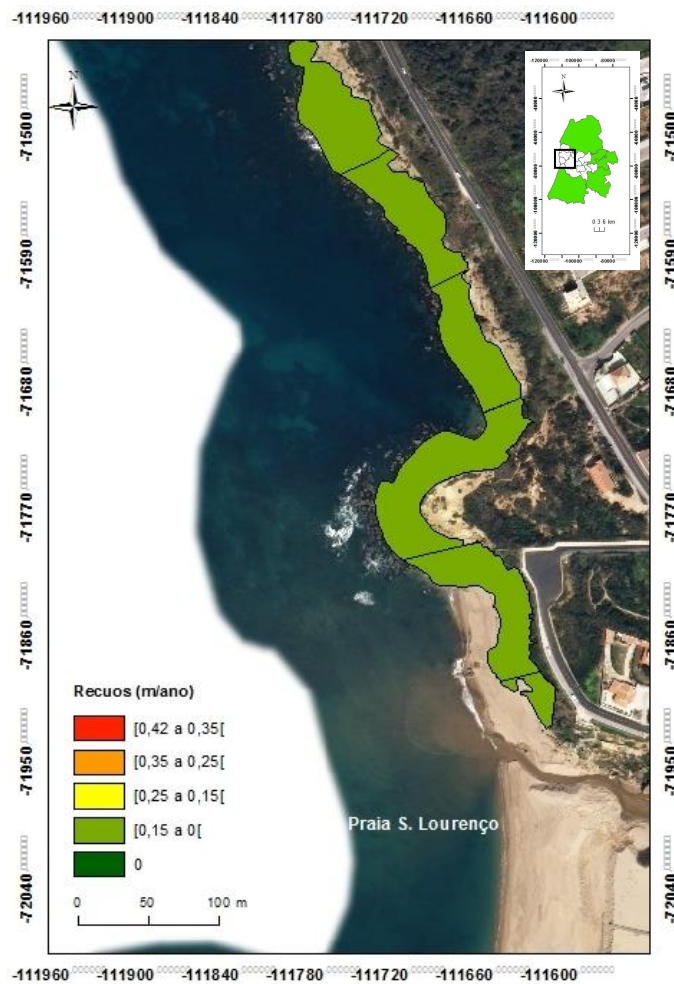


Figura 4.9: Exemplo de variação de [0,15 a 0[m/ano na praia de S. Lourenço

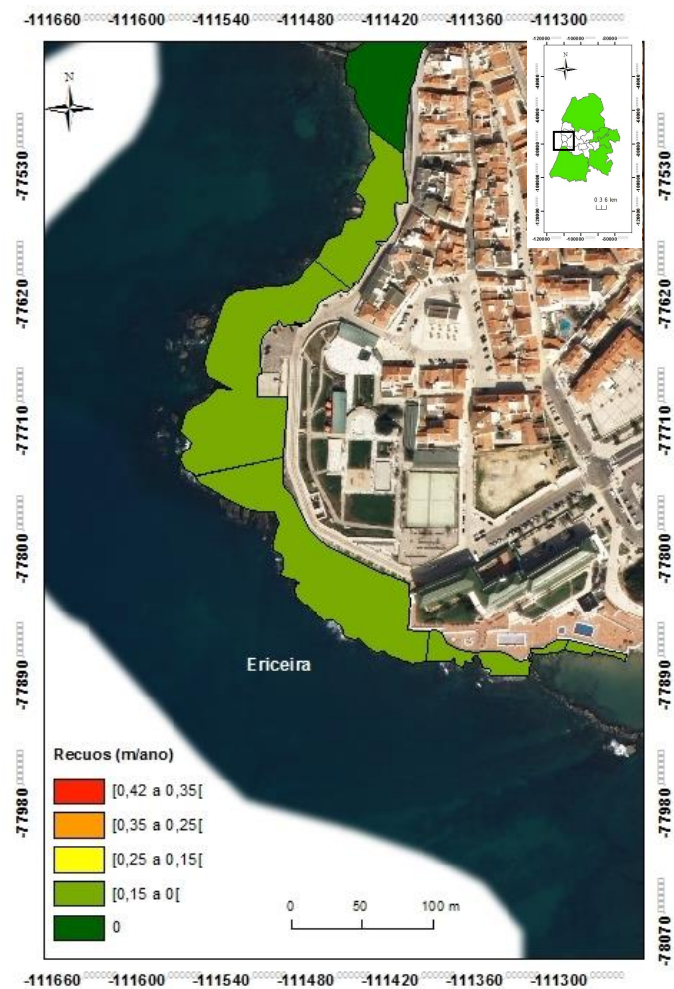


Figura 4.10: Exemplo de variação de [0,15 a 0[m/ano na Ericeira

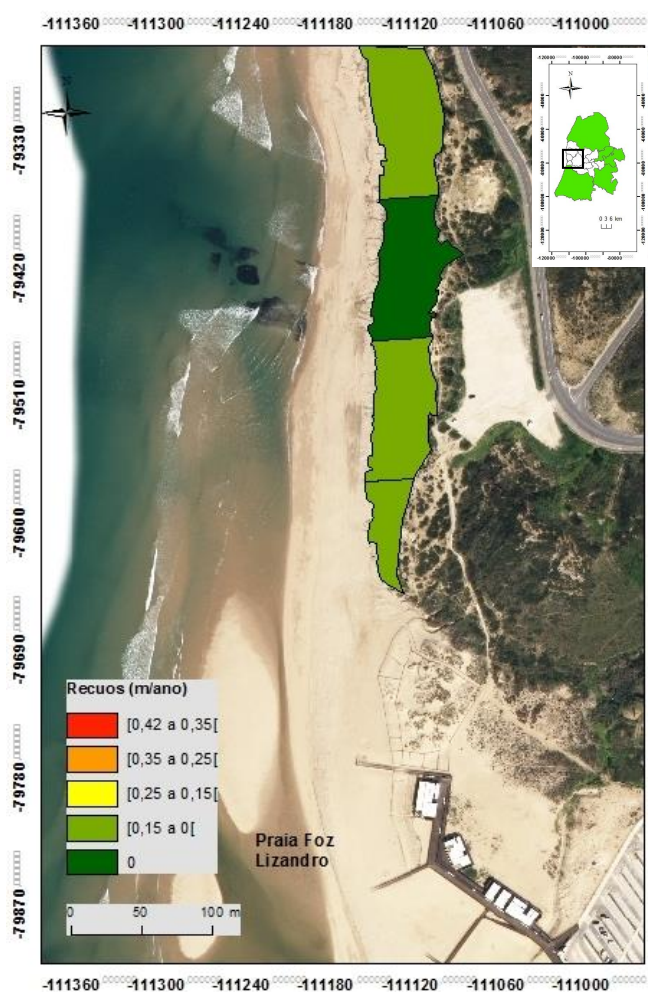


Figura 4.11: Exemplo de variação de $[0,15 \text{ a } 0[$ m/ano na praia da Foz do Lizandro

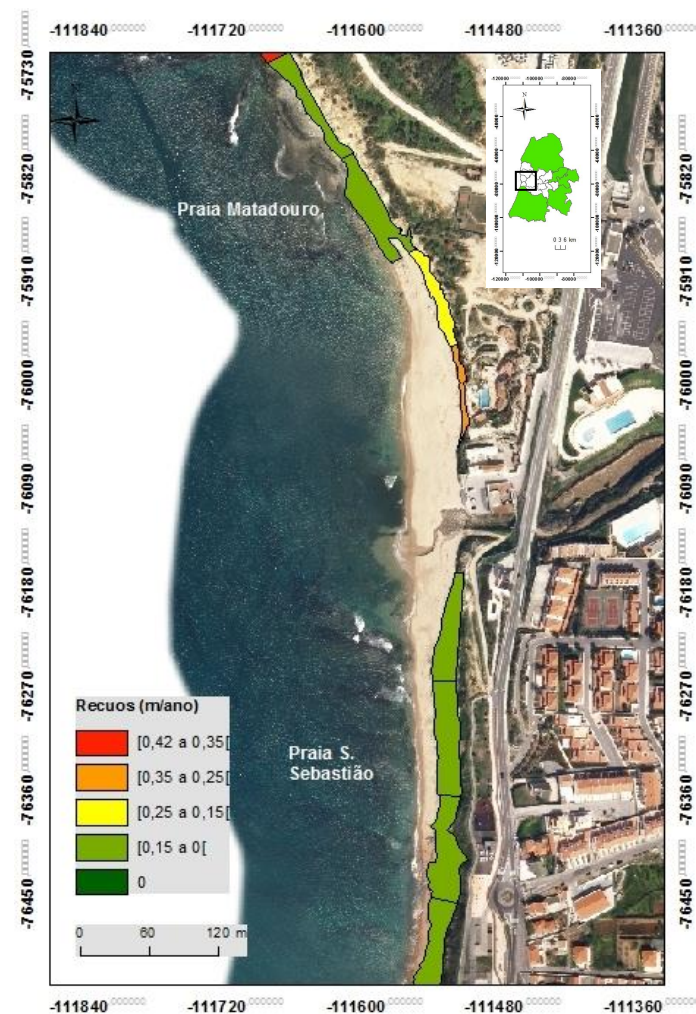


Figura 4.12: Exemplo de variação de $[0,15 \text{ a } 0[$ m/ano na praia do Matadouro e na praia de São Sebastião

O intervalo de $[0,25 \text{ a } 0,15[\text{ m/ano}$ corresponde 12% dos recuos. Estes são justificados pela presença de rochas brandas, sendo estas calcários margosos com alternância de argila, calcários, grés, margas e aluviões e localmente por filões alterados. Estes filões encontram-se, por exemplo, nas arribas a sul da praia dos Coxos e da praia de Ribeira d'Ilhas e nas arribas desde a praia do Matadouro até à praia do Algodio (Vallejo *et al.*, 2002; Neves, 2004). Tal como mencionado no intervalo anterior, o uso do solo (habitação, rodovias e agricultura) também se constitui como um fator importante no recuo das arribas (Sunamura, 1992; Ramos-Pereira, 2004). Estas variações negativas localizam-se, por exemplo, a norte da praia da Calada (Figura 4.13).

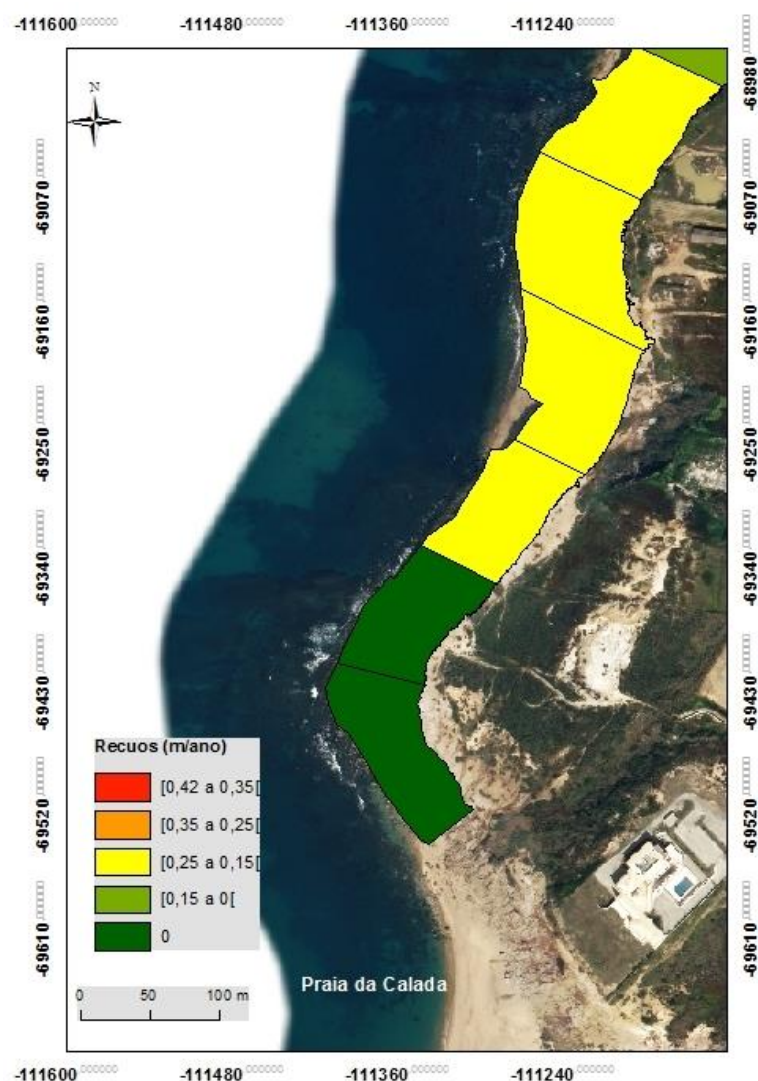


Figura 4.13: Exemplo de variação de $[0,25 \text{ a } 0,15[\text{ m/ano}$ a norte da praia da Calada

O intervalo de $[0,35 \text{ a } 0,25[\text{ m/ano}$ demonstra 7% dos recuos. Estes são justificados pelas seguintes litologias: calcários margosos com leitos de argila, grés, margas, arenitos e conglomerados, contendo filão de rocha alterada na praia de Ribeira d'Ilhas (Zbyszewski *et al.*, 1955). Além deste fator, o outro fator a ser salientado, tal como anteriormente referido, é o uso do solo (rodovias, habitação e agricultura) (Sunamura, 1992; Ramos-Pereira, 2004). Estas variações negativas localizam-se, por exemplo, na praia da Orelheira (Figura 4.15).

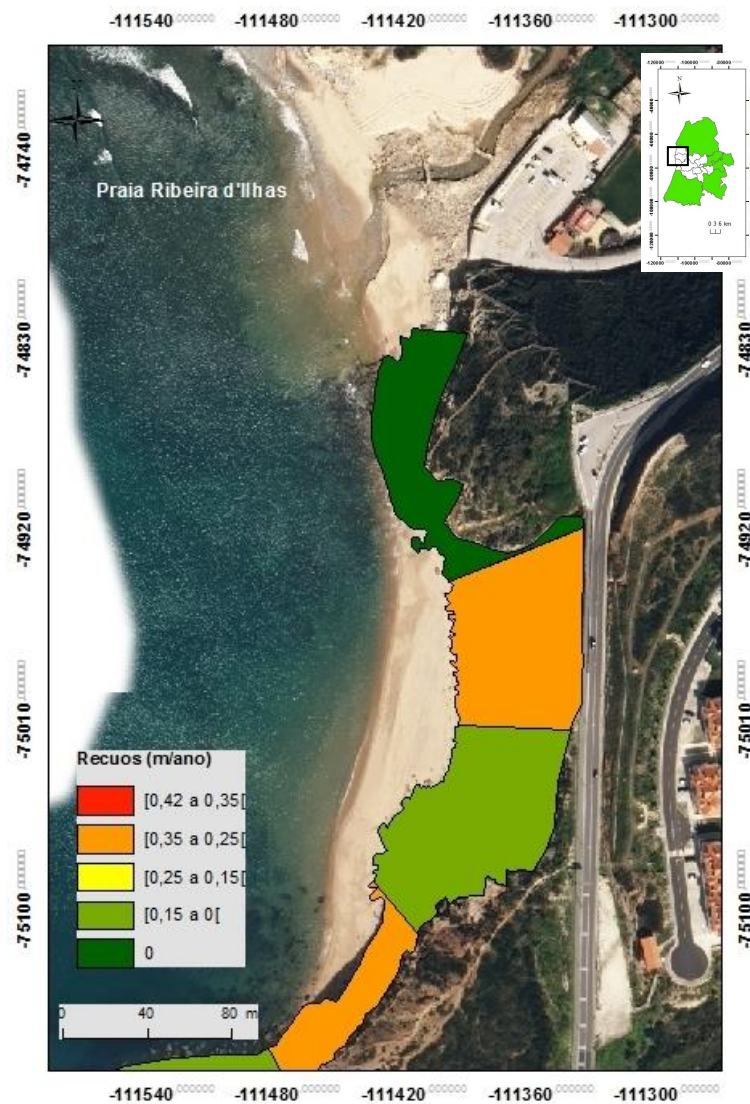


Figura 4.14: Exemplo de variação de $[0,35 \text{ a } 0,25[\text{ m/ano}$ na praia da Orelheira

O intervalo de $[0,42 \text{ a } 0,35[\text{ m/ano}$ representa 3% dos recuos, sendo o menos observado na área de estudo. É composto por calcários margosos com leitos de argila, arenitos, conglomerados e por um filão alterado na praia de São Sebastião (Zbyszewski *et al.*, 1955). Neste intervalo, estes recuos elevados em comparação aos anteriores é justificado pela intervenção antrópica (habitação e rodovias) (Sunamura, 1992; Ramos-Pereira, 2004). Estas variações negativas localizam-se, por exemplo, na praia de São Sebastião (Figura 4.15).

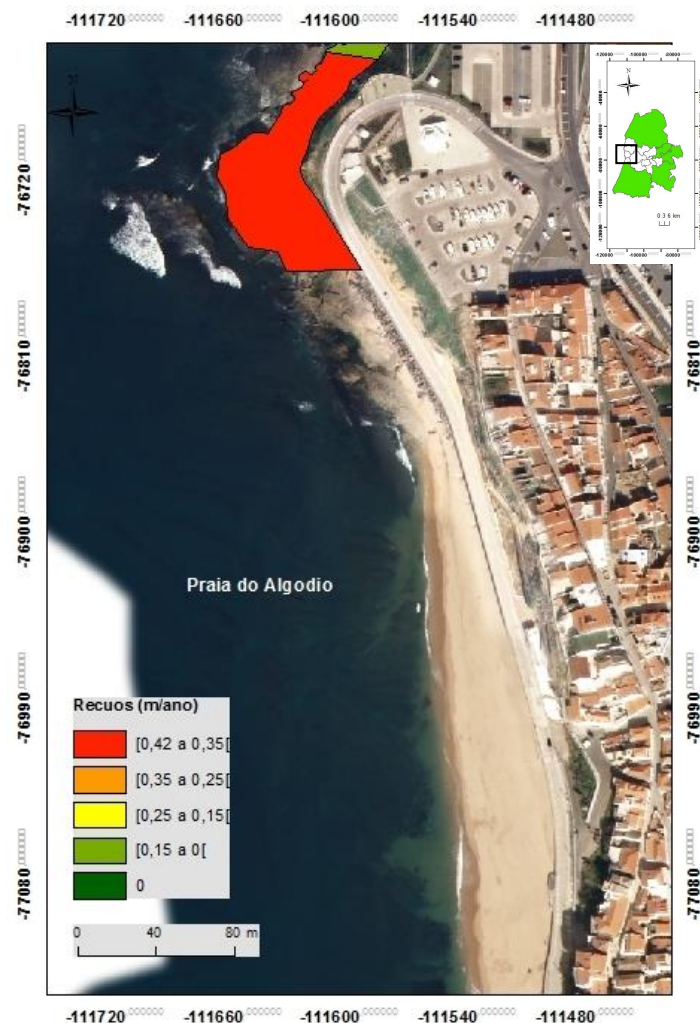


Figura 4.15: Exemplo de variação de $[0,42 \text{ a } 0,35[\text{ m/ano}$ na praia de São Sebastião

4.2. Tendência evolutiva da posição de linha de costa em sistemas praia

A avaliação da dinâmica intrínseca aos sistemas arenosos no concelho de Mafra, foi considerado o mesmo período temporal (1965-2010) que na dinâmica de arribas.

A determinação do balanço médio dos sistemas arenosos, como referido no capítulo III, foram escolhidos vários indicadores de acordo com a localização do sistema, uma vez que este

concelho é caracterizado por conter sistemas praia-arriba e, atualmente, por estes se encontrarem, na sua maioria, sob influência antrópica.

Assim, como a análise espacial deste tipo de sistema não se comporta uniformemente, a sua análise foi realizada para cada praia encastrada e de acordo com as características de cada praia (Figura 4.16).

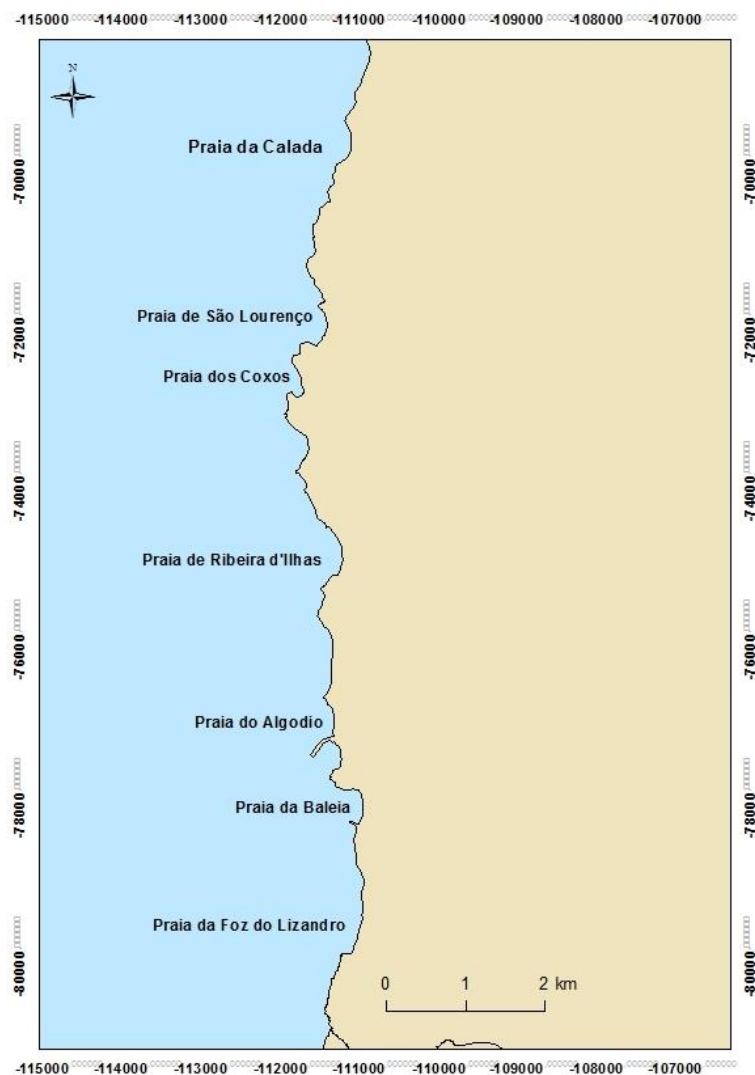


Figura 4.16: Localização dos sistemas praia

A praia da Calada é caracterizada por ter uma tendência de acreção com uma média de 0,71 m/ano. Para a sua análise, tanto para o ano de 1965 como para o ano de 2010, foi utilizado como indicador a base da arriba, no entanto, no ano de 2010, a parte central da praia, como encontrava-se (e encontra-se atualmente) artificializada por um parque de estacionamento. Por esse motivo também se utilizou a influência antrópica como indicador. Relativamente à variação espacial neste setor, tal como referido, ocorreu acreção contendo uma ligeira intensificação no setor sul, devido à acção antrópica (Figura 4.17).



Figura 4.17: Evolução da tendência da linha de costa na praia da Calada com a respetiva variação temporal e espacial segundo os indicadores de base da arriba e da área sob influência antrópica

A praia de São Lourenço, no período em estudo, tem uma tendência de erosão com um recuo médio de 0,13 m/ano, em que se utilizaram como indicadores para ambos os períodos temporais, a linha de vegetação e a linha de base da arriba. Espacialmente, a área apresenta uma tendência acumulativa a norte do setor, invertendo a sua tendência junto à área central e



mantendo a mesma tendência erosiva não tanto significativa no setor sul (Figura 4.18).

Figura 4.18: Evolução da tendência da linha de costa na praia de São Lourenço com a respetiva variação espacial e temporal segundo os indicadores de base da arriba e da linha de vegetação

Para a avaliação da praia dos Coxos, utilizou-se como indicadores a base da arriba tanto para 1965 como para 2010. Contém temporalmente, uma tendência evolutiva de acreção com uma média de 0,32 m/ano. Este setor é caracterizado por ter uma erosão nas áreas limítrofes provocando assim, um aumento da largura da praia. Através dos depósitos que se encontram na base da arriba, ocorreu uma acreção da praia, sendo esta constante (Figura 4.19).



Figura 4.19: Evolução da tendência da linha de costa na praia dos Coxos com a respetiva variação temporal e espacial segundo o indicador de base da arriba

A praia de Ribeira d'Ilhas é representada por uma tendência de recuo com média de recuo de 1,48 m/ano. Os indicadores utilizados para calcular a análise temporal foram, em 1965, a linha de vegetação, e em 2010, a linha de vegetação e a influência antrópica. Especialmente, o setor sul, como se encontra sob influência antrópica, ocorre uma acreção da praia. Em contrapartida, no setor norte ocorre um recuo pouco significativo, sendo este recuo fortemente significativo na parte central da praia (Figura 4.20).



Figura 4.20: Evolução da tendência da linha de costa na praia de Ribeira d'Ilhas com a respetiva variação temporal e espacial segundo os indicadores da linha de vegetação e da área sob influência antrópica

Para a praia do Algodio, o indicador usado foi a estrutura de proteção do litoral, uma vez que nesta praia foi construído um muro que serve de paredão. Nesta praia ocorre acreção no limite interno da praia, em que esta aumentou a sua largura devido à construção de um esporão localizado imediatamente a sul da praia (Figura 4.21).



Figura 4.21: Evolução da tendência da linha de costa na praia do Algodio com a respetiva variação temporal e espacial segundo o indicador de estrutura de proteção do litoral

Na praia da Baleia foram utilizados o indicador de base da arriba (atualmente artificializado) para o ano de 1965 e o muro para o ano de 2010. É qualificada com uma tendência evolutiva de acreção com uma média de 0,36 m/ano e, espacialmente, a acreção permanece constante ao longo deste setor costeiro (Figura 4.22).



Figura 4.22: Evolução da tendência da linha de costa na praia da Baleia com a respetiva variação temporal e espacial segundo o indicador de base da arriba e de influência antrópica

Para a praia da Foz do Lizandro, o indicador utilizado para a sua análise foi a linha de vegetação dunar para ambos os períodos em estudo. Este setor apresenta uma evolução de recuo com uma média de 0,4 m/ano. Esta tendência classifica-se com um permanente recuo, na qual ocorre uma intensificação do mesmo junto aos apoios de praia, podendo este estar relacionado com a elevada pressão antrópica, devido à colocação destes apoios (Figura 4.23).



Figura 4.23: Evolução da tendência da linha de costa na praia da Foz do Lizandro com a respetiva variação espacial e temporal segundo o indicador da linha de vegetação dunar

Capítulo V – Faixas de salvaguarda e elementos expostos

O litoral, como mencionado no capítulo I, é a interface entre o mar e a terra e dinâmico por natureza, sofrendo mudanças a curto e a longo prazo (Sunamura, 1992 *in* Castedo *et al.*, 2015). Assim, neste estudo realça-se a importância de prever a nova posição da linha nos sistemas de arriba e nos sistemas praias, com e sem a contabilização dos temporais, para os anos de 2020, 2030 e 2050. Este capítulo tem como objetivo a tomada de melhores decisões em termos de orla costeira e ordenamento do território, avaliando os possíveis efeitos da sobre-elevação do nível do mar e a moldagem preditiva da morfodinâmica litoral, bem como que elementos serão afetados. Estas previsões são baseadas nas taxas de recuos de anos anteriores e na aplicação de métodos analíticos (Castedo *et al.*, 2015).

5.1. Determinação nos sistemas de arriba

Castedo *et al.* (2015) e Brooks and Spencer (2012) abordam os diversos modelos empíricos e probabilísticos utilizados nos estudos das previsões da nova posição da linha do topo de arriba, tal como mencionado no capítulo III.

Em primeiro lugar, idealizou-se o pior cenário da subida do nível do mar de acordo com o *IPCC*, para o ano de 2050, utilizando os dois modelos empíricos e probabilísticos: *Leatherman model* e *Scape model*, tendo por base os valores de recuo da linha do topo de arriba para os anos de 1965 a 2010 no concelho de Mafra.

Observando a figura 5.1, os dois modelos demonstram uma discrepância nas projeções para o ano de 2050. O *Leatherman model* apresenta valores mais elevados quando comparados com os valores de recuos, variando estes de 50 m/ano a 2 m/ano. O *Scape model* exibe valores mais próximos da realidade quando comparados com os valores das taxas de recuo, na qual os valores das projeções variam entre 4,6 m/ano a 0,011 m/ano.

O *Scape model*, apesar de demonstrar valores mais próximos dos recuos estudados, apresenta também problemas associado quando existe estabilidade (recuo 0 m/ano) do topo de arriba. Numa arriba que apresente estabilidade no seu topo, podem ocorrer movimentos de massa e erosão hídrica na sua face, sem que nestes recuos sejam contabilizados esses processos, uma vez que se desconhece o seu declive.

Tal como anteriormente referido, as arribas do concelho de Mafra caracterizam-se pela existência de erosão hídrica e de movimentos de massa (figura 5.2 e 5.3). Na figura 5.2, observa-se uma arriba com vários sulcos/ravina, resultando da escorrência de águas superficiais por impacto das gotas de chuva e escorrência difusa ou concentrada nas fachadas

das arribas, nos terrenos do Jurássico superior (Marques *et al.*, 2013b). Na figura 5.3, visualiza-se no sopé, a sul da praia de Ribeira d’Ilhas e na praia da Orelheira, material desmantelado da arriba resultante de um movimento de massa.

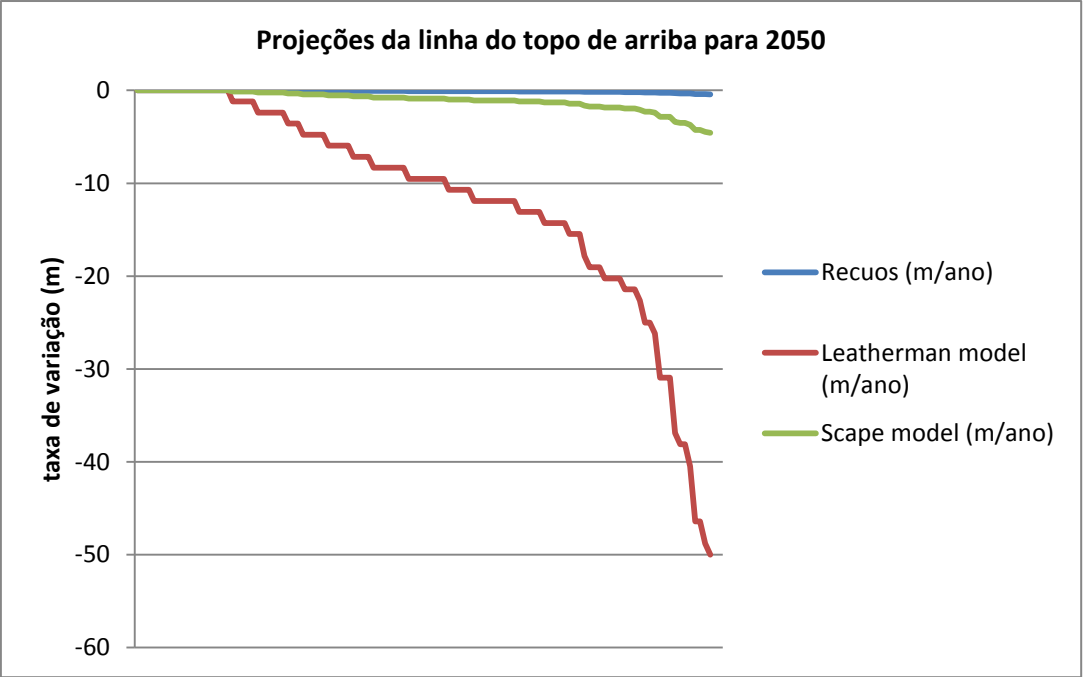


Figura 5.1: A previsão do recuo da linha do topo de arriba tendo em conta os valores apurados e nos modelos *Leatherman model* e do *Scape model* no pior cenário da subida do nível médio do mar, segundo o IPCC, para 2050.



Figura 5.2: Exemplo de erosão hídrica a norte da praia da Calada



Figura 5.3: Exemplo de movimento de massa na praia da Orelheira

A fórmula do *Scape model* foi adaptada à área de estudo pela introdução do parâmetro dinâmica e, de forma a englobar os processos anteriormente descritos e a sua área. Esta modificação contém a designação de “*Scape model* modificado” e é expressa por:

$$R_2 = (R_1 + (D \times -1)) * \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} \quad (18)$$

Sendo que:

- R_2 indica a futura posição da linha do topo de arriba (m/ano)
- R_1 constitui os recuos da linha do topo de arriba (m/ano) no período estudado
- D = (número de processos / área)
- S_2 designa as futuras projeções do nível médio do mar (mm/ano), segundo o IPCC
- S_1 representa o nível médio do mar durante o período de estudo dos recuos da linha do topo de arriba (mm/ano), de acordo com Antunes e Taborda, 2009 para o marégrafo de Cascais.

Este modelo foi aplicado nos piores cenários do *IPCC* para os anos de 2020, 2030 e 2050. O quadro 5.1, representa os valores de 0 m/ano no *Scape model* e no *Scape model* modificado.

Quadro 5.1

Representação dos valores (m/ano) no *Scape model* e no *Scape model* modificado nos respectivos locais de estudo

Local de estudo	Scape model			Scape model modificado		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050
praia da Calada (fig. 5.4)	0	0	0	0,00103	0,00136	0,00189
	0	0	0	0,00182	0,0024	0,0033
sul praia da Calada até praia de S. Lourenço (fig. 5.5)	0	0	0	0,001	0,00132	0,00183
praia dos Coxos (fig. 5.6)	0	0	0	0,0009	0,0019	0,00165
sul praia dos Coxos até Dois Irmãos (fig. 5.7)	0	0	0	0	0	0
praia da Baleia (fig. 5.10)	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
praia da Baleia à praia da Foz do Lizandro (fig. 5.10)	0	0	0	0,00154	0,00203	0,00282
	0	0	0	0,00339	0,00446	0,00618
	0	0	0	0,00415	0,00547	0,00758

Com a aplicação do *Scape model* modificado, conclui-se que os resultados são semelhantes ao modelo original (*Scape model*), com exceção dos casos em que existe uma estabilidade (0

m/ano) que permite aferir a dinâmica de arriba naquele local. Nestes locais, os valores são ligeiramente superiores devido à evolução das arribas.

As figuras 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 ilustram as faixas de salvaguarda para os três anos e também os locais onde ocorreu uma dinâmica de arriba.

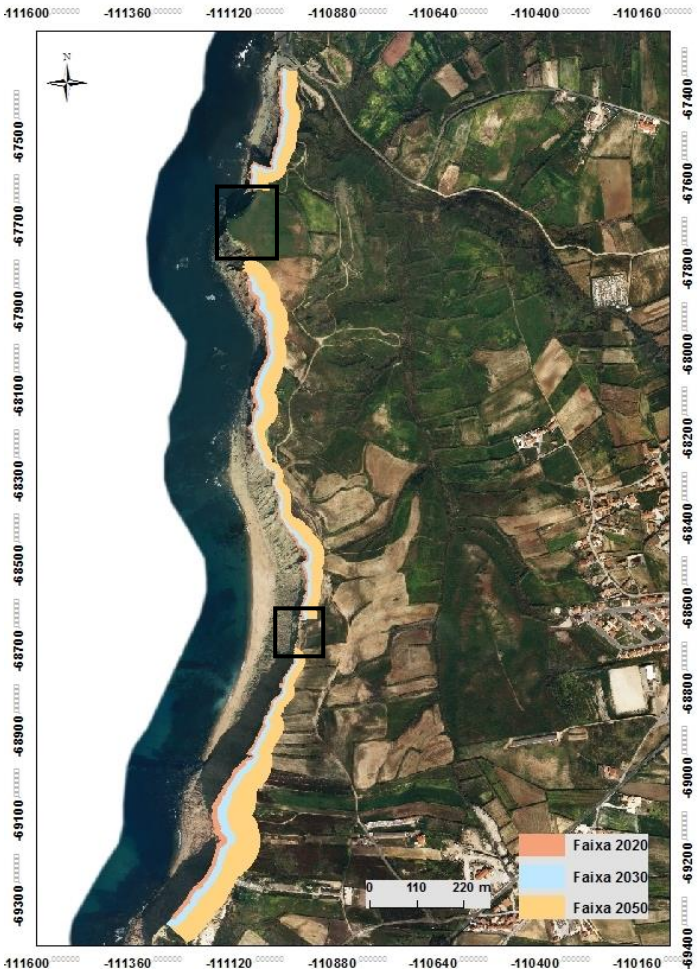


Figura 5.4: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde o limite do concelho até à praia da Calada.
Nota: os sítios assinalados, contêm faixa de salvaguarda onde os recuos variam entre os 0,0019 m/ano a 0,0033 m/ano.

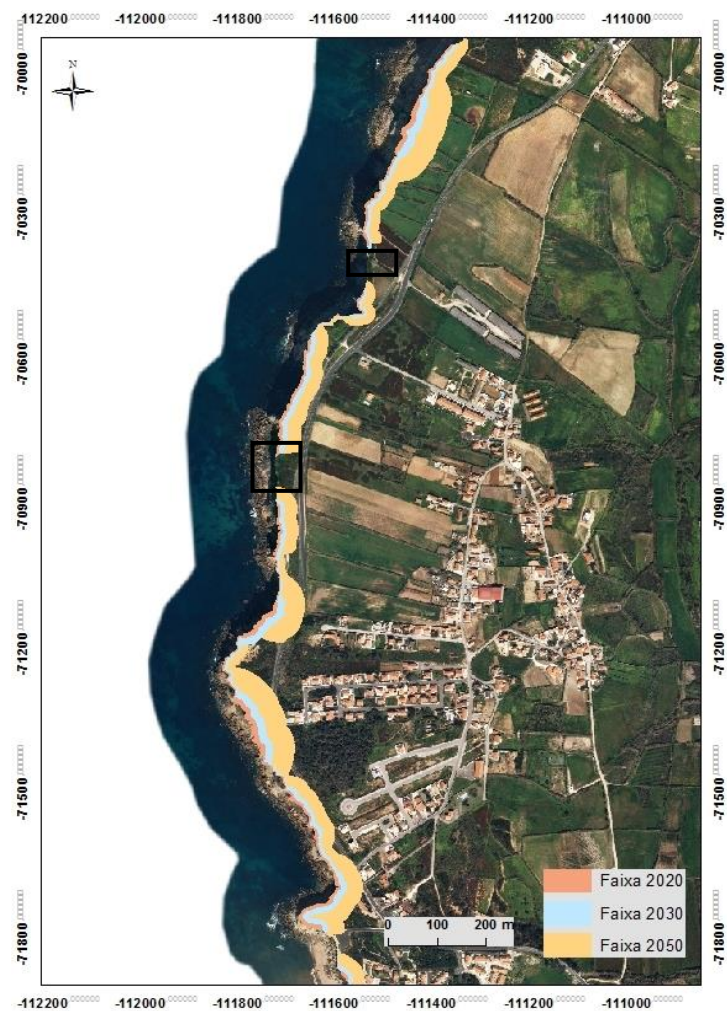


Figura 5.5: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a praia da Calada à praia de São Lourenço
 Nota: os sítios assinalados contêm faixa de salvaguarda onde os valores variam entre 0,001 m/ano e os 0,002 m/ano

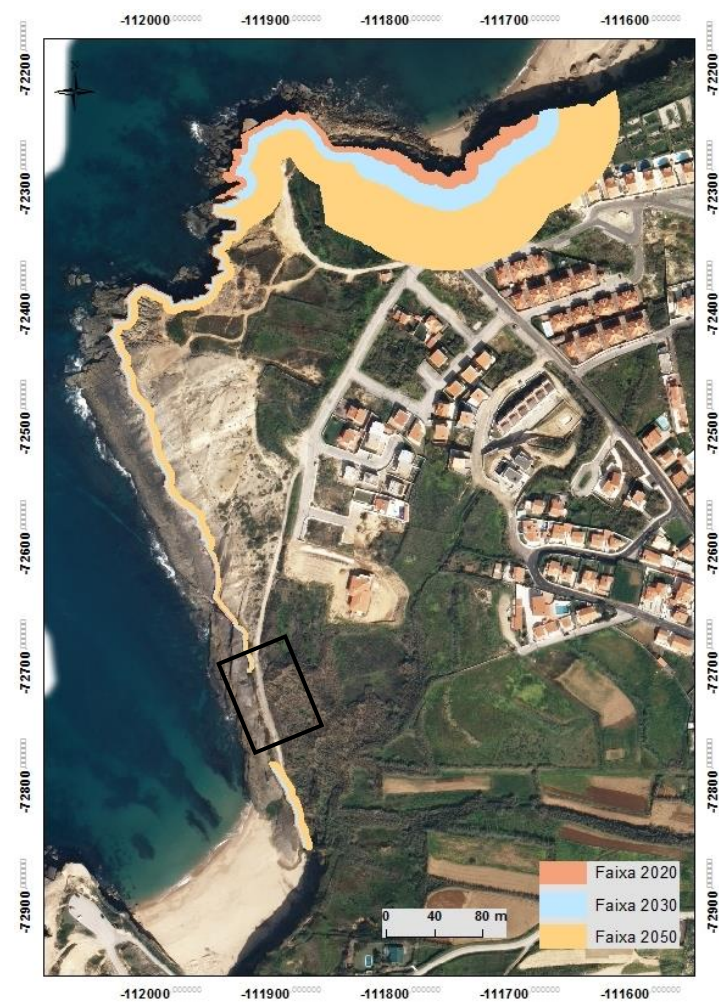


Figura 5.6: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a praia de São Lourenço à praia dos Coxos.
 Nota: os sítios assinalados contêm faixa de salvaguarda onde os valores variam entre 0,002 m/ano e os 0,003 m/ano

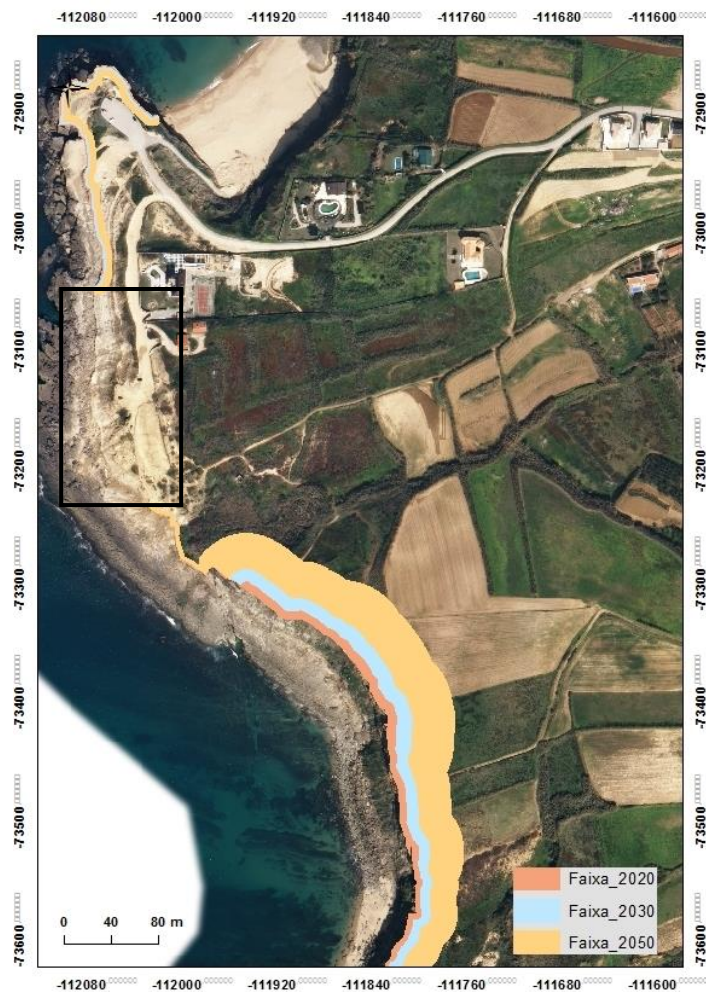


Figura 5.7: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a praia dos Coxos até Dois Irmãos.
Nota: o sítio assinalado, não contém faixa de salvaguarda porque o seu valor é 0 m/ano

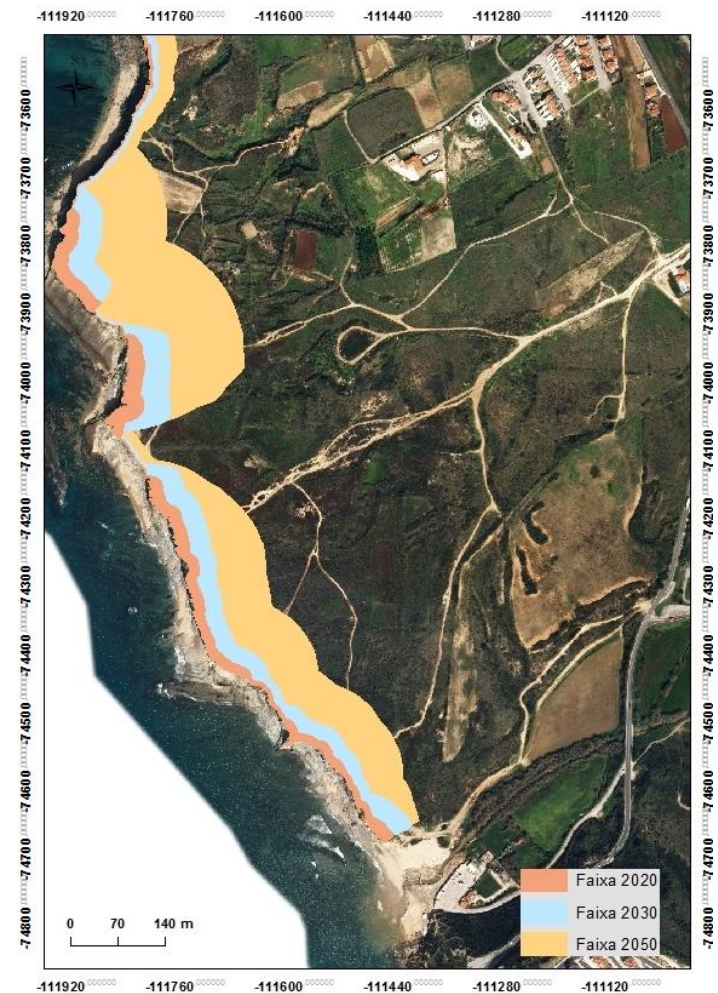


Figura 5.8: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde Dois Irmãos à praia de Ribeira d'Ilhas

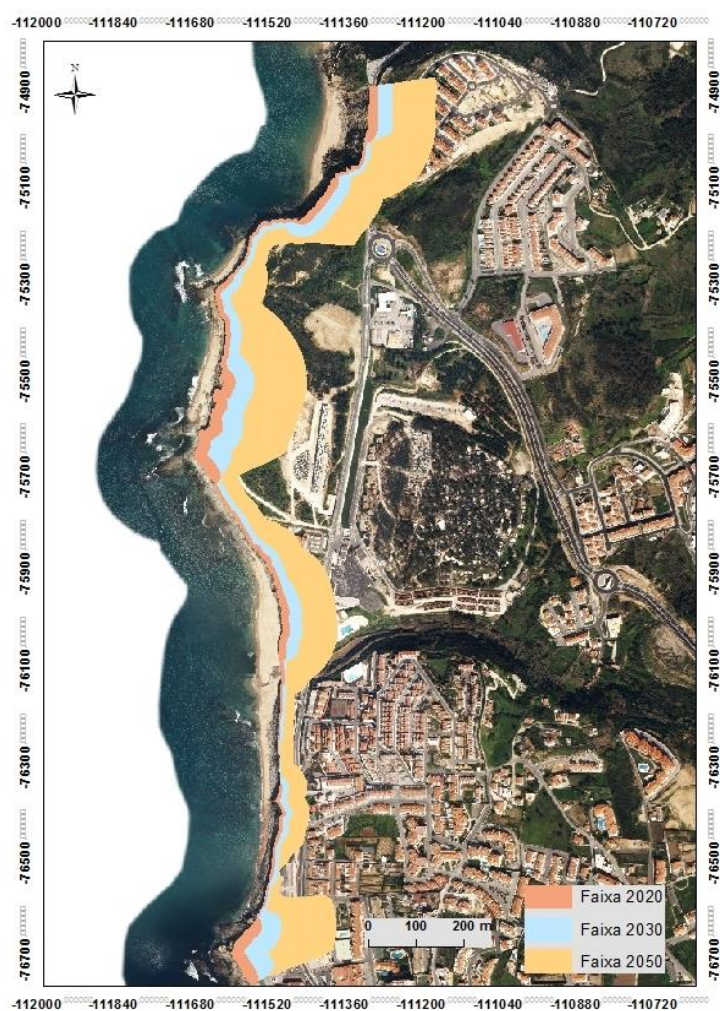


Figura 5.9: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a praia da Orelheira à praia de São Sebastião

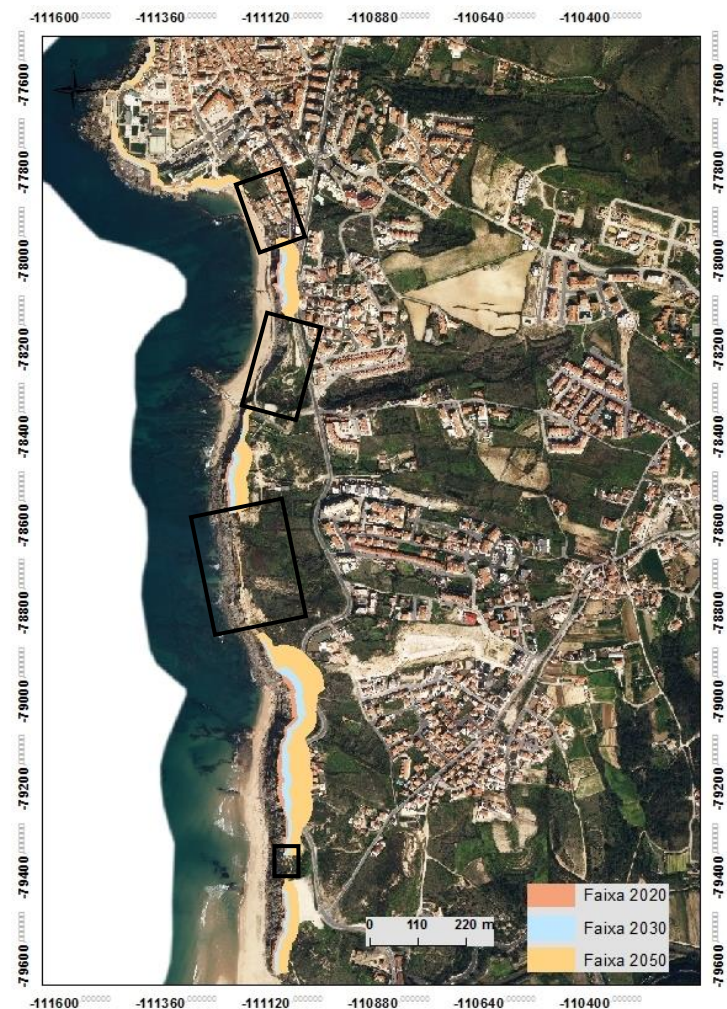


Figura 5.10: Faixas de salvaguarda nos três cenários desde a Ericeira à praia da Foz do Lizandro. Nota: Os sítios assinalados, não contêm faixa de salvaguarda porque o seu valor é de 0 m/ano.

A análise dos elementos expostos dentro das faixas de salvaguarda para o ano de 2050 no pior cenário foi realizada com base na Carta de Ocupação do Solo, na Base Geográfica de Referenciação de Informação e na inspeção visual do ortofotomapa. Teve como objetivo compreender que o uso do solo, a população e o edificado serão afetados face à previsão da posição da linha do topo de arriba, nos cenários analisados.

Relativamente à análise do tipo de uso do solo, desde o limite norte do concelho até à praia da Calada, dentro da faixa de salvaguarda para 2050, o tipo de ocupação afetado é da categoria B e C, à qual correspondem área de extensão de inertes e vegetação ripícola, bem como, agricultura de sequeiro, respetivamente (Figura 5.11). A agricultura de sequeiro domina a área afetada com 64%, seguindo-se da vegetação ripícola com 27% e, por último, a área de extração de inertes com 9%.

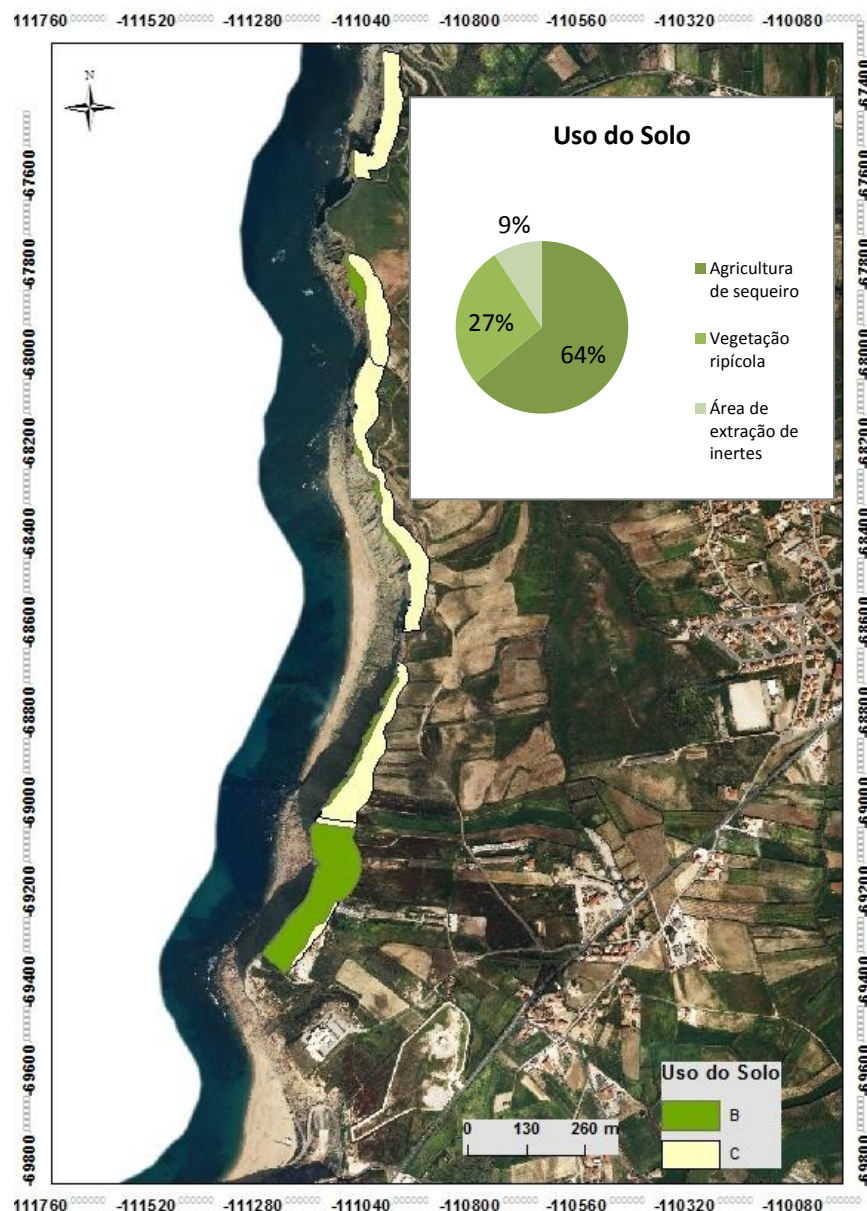


Figura 5.11: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde o limite norte do concelho até à praia da Calada (B - inertes e vegetação ripícola; C - agricultura de sequeiro)

Desde a praia da Calada à praia de São Lourenço, dentro da faixa de salvaguarda para o ano de 2050, o tipo de ocupação do solo afetado corresponde às categorias A, B, C, D e E, à qual correspondem, respetivamente, pinheiro manso, mato, herbáceas e área de extração de inertes, agricultura de sequeiro, edifício aglomerado e rede viária (Figura 5.12). Neste setor o predomínio de área afetada é o mato com 51%, seguindo-se da área de extração de inertes com 21%, depois a agricultura de sequeiro com 19%, a rede viária com 5%, o pinheiro manso com 2% e, por último, o edifício aglomerado e as herbáceas com 1% cada um.

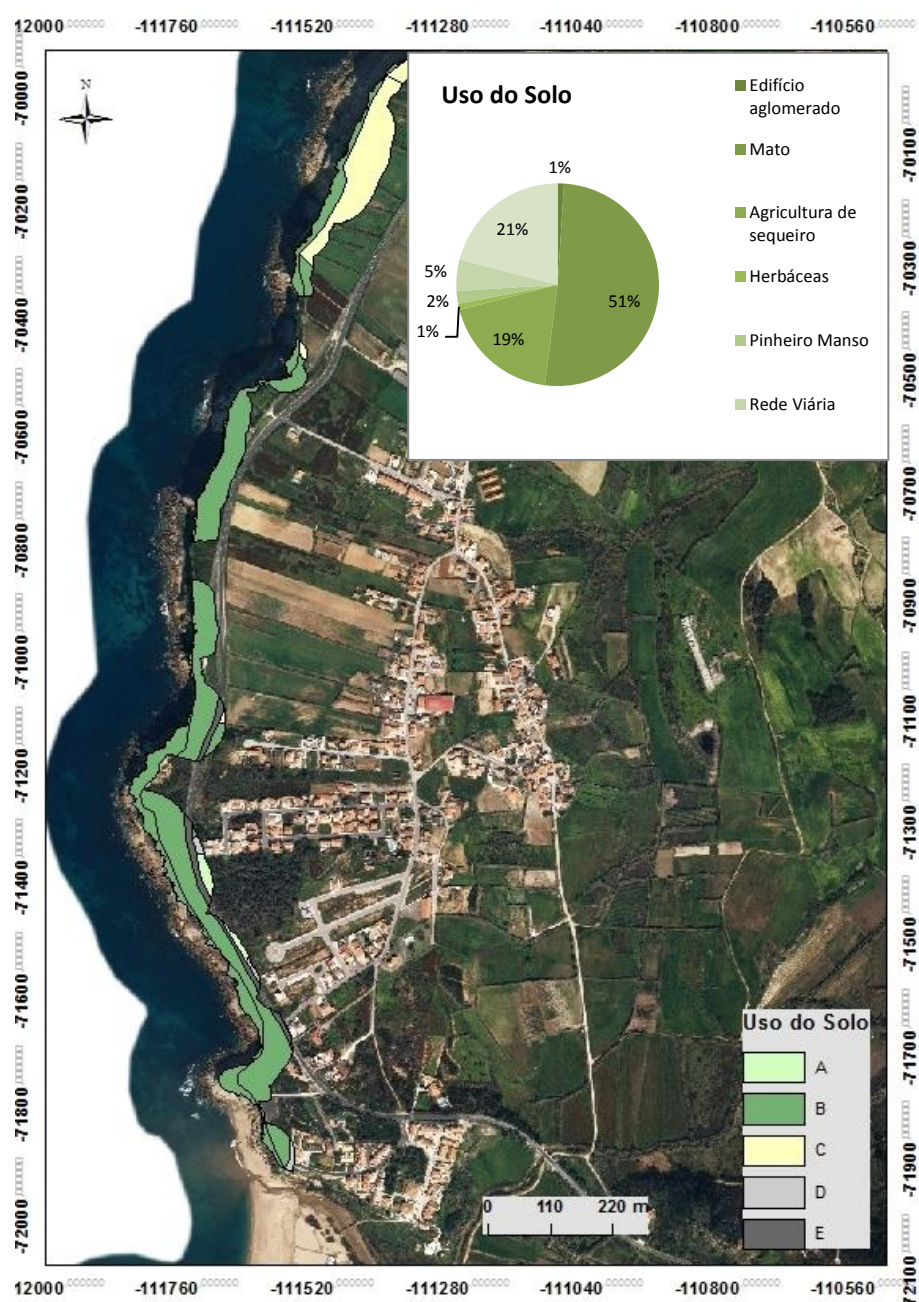


Figura 5.12: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde a praia da Calada à praia de São Lourenço (A- pinheiro manso; B- mato, herbáceas e área de extração de inertes; C - agricultura de sequeiro; D - edifício aglomerado; E - rede viária)

Entre a praia de São Lourenço e a praia dos Coxos, dentro da faixa de salvaguarda para o ano de 2050, o tipo de ocupação do solo afetado corresponde às categorias B e D, à qual correspondem, respetivamente, área de extração de inertes, vegetação ripícola e mato e edifício aglomerado (Figura 5.13). Neste setor o predomínio da área afetada é o mato com 48%, seguindo-se a área de extração de inertes com 32%, depois o edifício aglomerado com 19% e, por último, a vegetação ripícola com 1%.

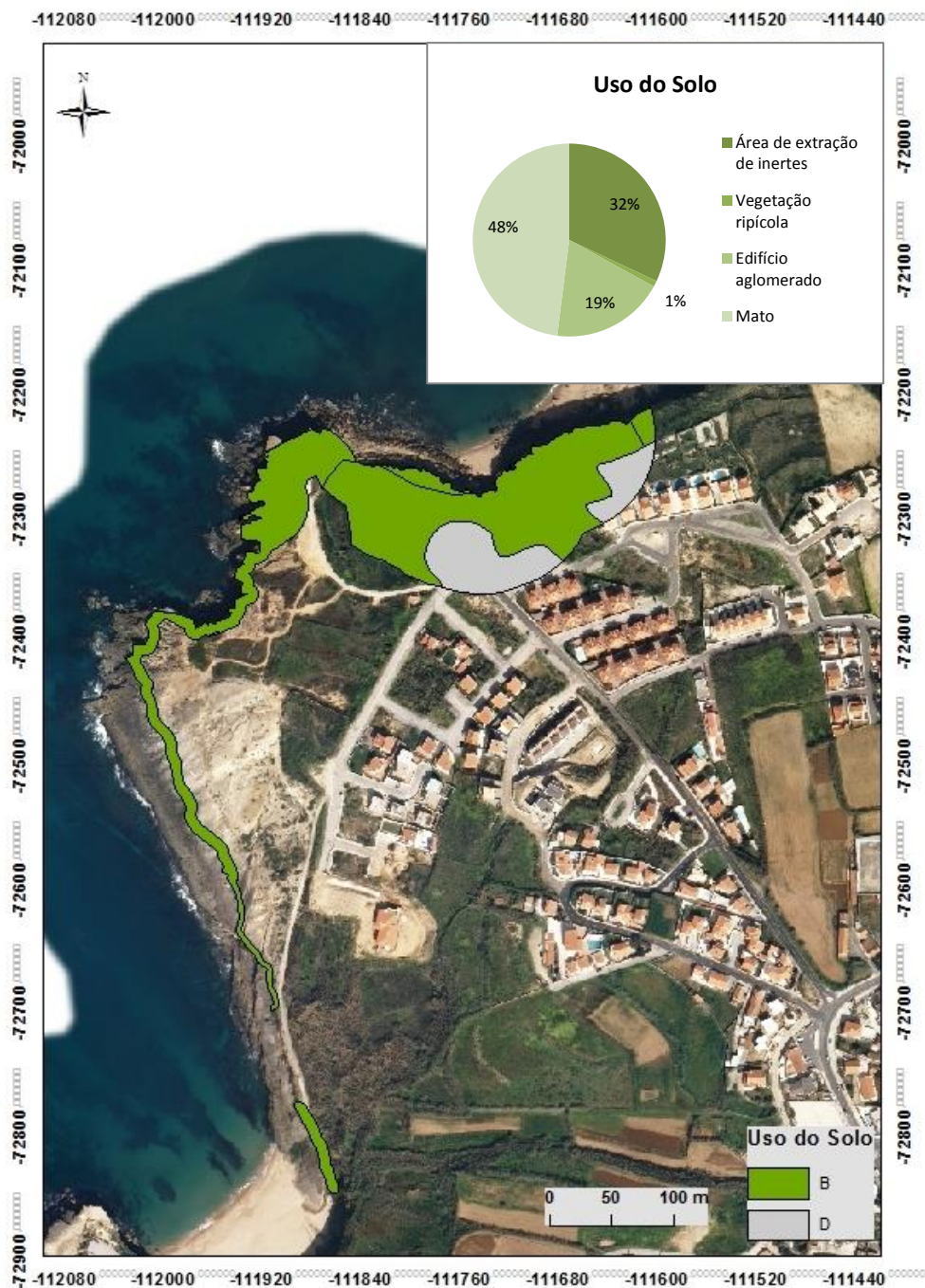


Figura 5.13: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde a praia de São Lourenço à praia dos Coxos (B- área de extração de inertes, vegetação ripícola e mato; D - edifício aglomerado)

Desde o sul da praia dos Coxos até Dois Irmãos, as tipologias de uso do solo existentes dentro da faixa de salvaguarda para o ano de 2050 são referentes às categorias B e C que designam, respetivamente, mato e área de extração de inertes e vegetação ripícola e agricultura de sequeiro (Figura 5.14). Neste setor a preponderância da área afetada é a vegetação ripícola com 88%, seguindo-se a área de extração de inertes com 6%, depois a agricultura de sequeiro com 4% e, por último, o mato com 2%.

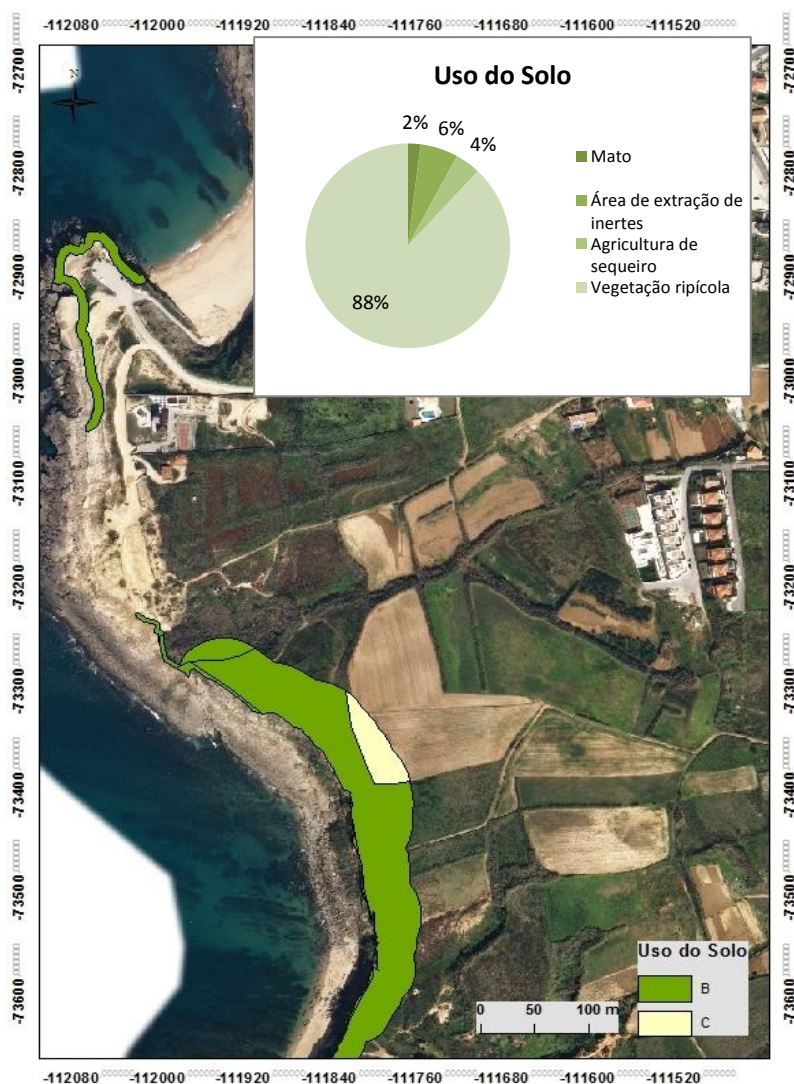


Figura 5.14: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde o sul da praia dos Coxos até Dois Irmãos. (B - mato e área de extração de inertes; C - vegetação ripícola e agricultura de sequeiro)

Entre Dois Irmãos e a praia de Ribeira d'Ilhas a tipologia que caracteriza a faixa de salvaguarda para o ano de 2050 pertence à categoria B, área de extração de inertes e vegetação ripícola (Figura 5.15). Neste setor predomina com 97% a área de vegetação ripícola, seguindo-se com 3%, a área de extração de inertes.

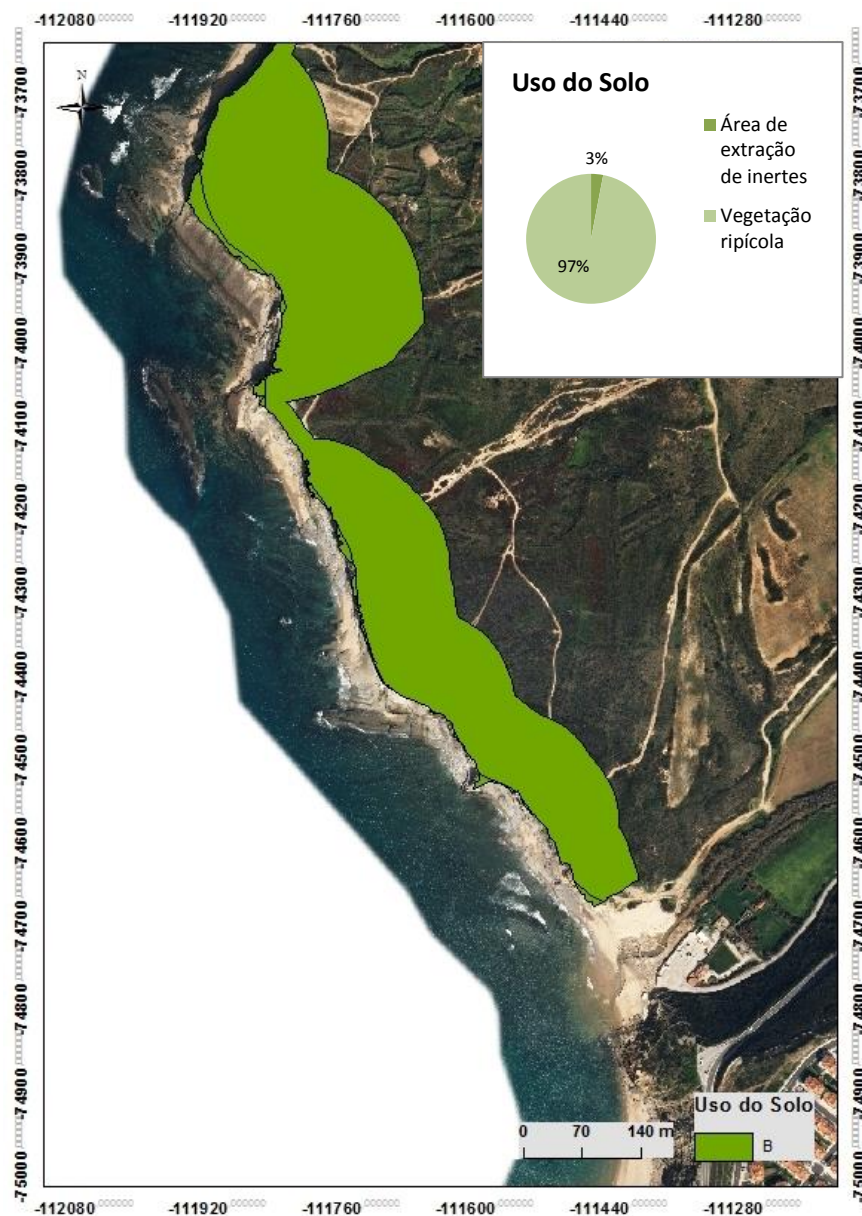


Figura 5.15:
Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde Dois Irmãos à praia de Ribeira d’Ilhas. (B - área de extração de inertes e vegetação ripícola)

Desde a praia da Orelheira à praia de São Sebastião, o uso do solo existente na faixa de salvaguarda para o ano de 2050 contém as tipologias A, B, D e E que designam outras folhosas, mato, edifício aglomerado e rede viária (Figura 5.16). A área predominante é o edificado aglomerado com 45%, seguindo-se do mato com 33%, posteriormente a área de extração de inertes com 15%, a rede viária com 6% e, por último, outras folhosas com 1%.

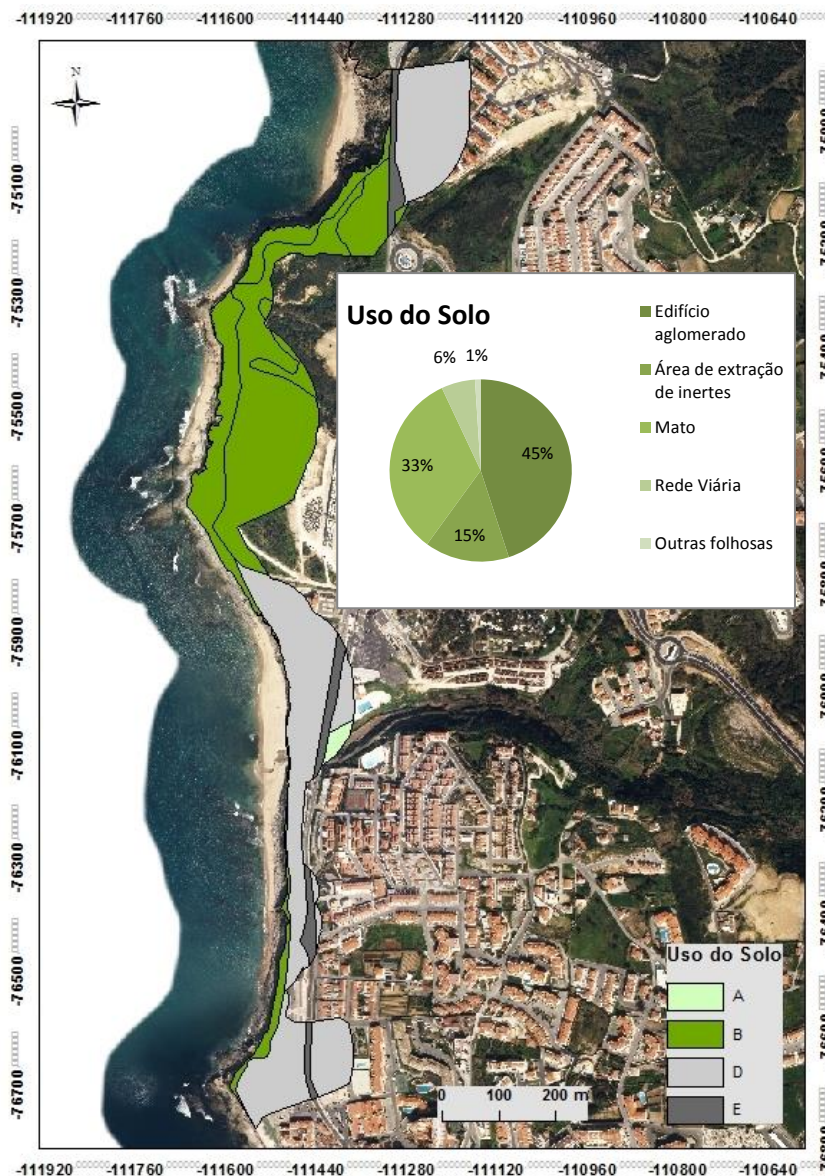


Figura 5.16: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde a praia da Orelheira à praia de São Sebastião. (A - outras folhosas; B - mato, área de extração de inertes; D - edifício aglomerado; E - rede viária)

Entre a Ericeira e a praia da Foz do Lizandro, o uso do solo presente nas faixas de salvaguarda para o ano de 2050 contém as categorias B, D e E que representam, respetivamente, vegetação ripícola, herbáceas e área de extração de inertes, edificado aglomerado e rede viária (Figura 5.17). Neste setor a tipologia preponderante é a vegetação ripícola com 47%, seguindo-se o edificado aglomerado com 27%, seguidamente a área de extração de inertes com 13%, a rede viária com 9% e, por último, as herbáceas com 4%.

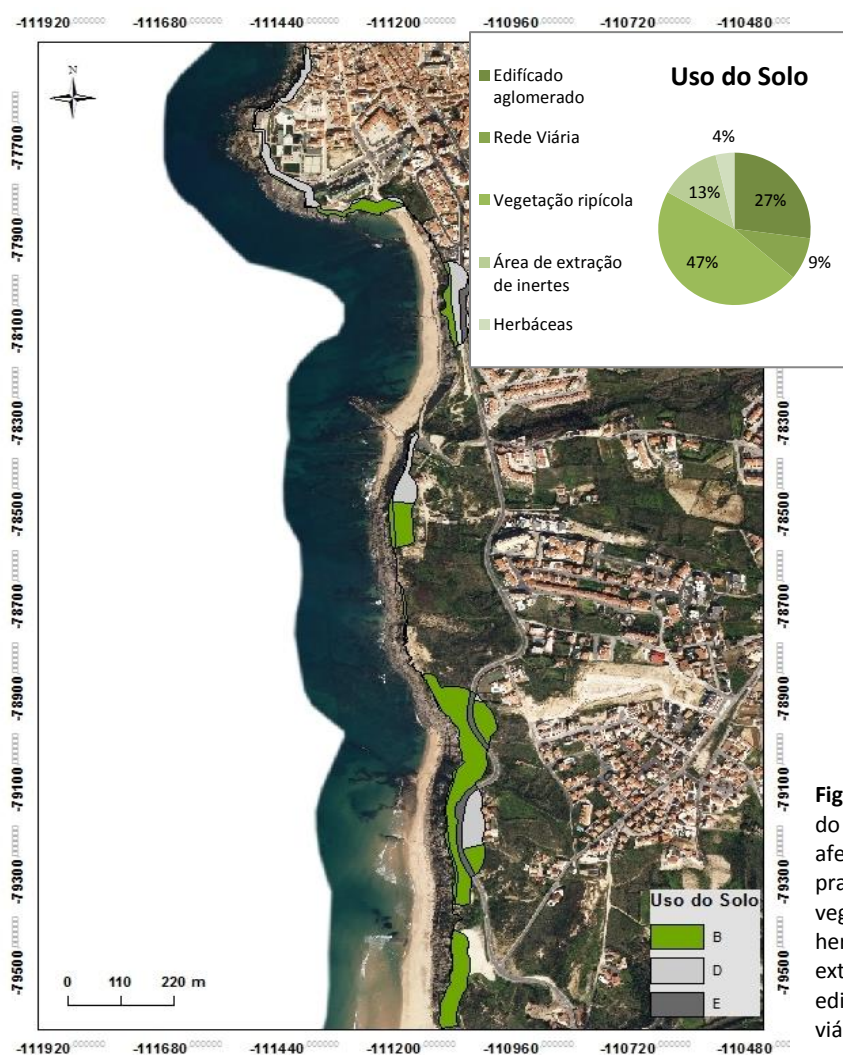


Figura 5.17: Espacialização do tipo de ocupação do solo afetado desde a Ericeira à praia da Foz do Lizandro. (B - vegetação ripícola, herbáceas e área de extração de inertes; D - edifício aglomerado; E - rede viária)

Relativamente à BGRI, a partir do quadro 5.2 observa-se que população e que classe etária será afetada bem como a tipologia do edificado afetado dentro da faixa de salvaguarda para o ano de 2050.

Quadro 5.2

Representação do número de total de residentes e tipologia do edificado para cada setor da área de estudo no cenário de 2050

Setor	Residentes	Edificado	
	Total	Residencial	Não Residencial
Desde o limite N do concelho até à Praia da Calada	0	0	0
Entre a Praia da Calada e a Praia de São Lourenço	1	1	0
Entre a Praia de São Lourenço e a Praia dos Coxos	2	2	0
Praia dos Coxos a Dois Irmãos	0	0	0
Dois Irmãos à Praia de Ribeira d'Ilhas	0	0	0
Praia da Orelheira à Praia de São Sebastião	160	42	0
Ericeira à praia da Foz do Lizandro	10	11	1

Desde o limite norte do concelho até à praia da Calada, não haverá população nem edifícios afetados dentro da faixa de salvaguarda para o ano de 2050.

Situação ligeiramente diferente ocorre entre a praia da Calada e a praia de São Lourenço, onde um residente (entre 20 e 64 anos) ocupa um edifício do tipo residencial.

Entre a praia de São Lourenço e a praia dos Coxos, constata-se a existência de habitação (dois edifícios do tipo residencial) dentro da faixa de salvaguarda da qual constam dois indivíduos que pertencem à classe etária dos 20-64 anos.

Desde a praia dos Coxos até à praia de Ribeira d'Ilhas não se observa a existência de edificado e, consequentemente, de população.

Entre a praia da Orelheira e a praia de São Sebastião, a situação é distinta. Existe um aglomerado populacional com 160 indivíduos e 42 edifícios do tipo residencial dentro da faixa de salvaguarda para o ano de 2050.

Desde a Ericeira à praia da Foz do Lizandro, dentro da faixa de salvaguarda para o ano de 2050, encontram-se 10 indivíduos, 5 indivíduos na classe etária superior a 64 anos, e 11 edifícios do tipo residencial e um do tipo não residencial (Hotel Vila Galé Ericeira).

5.2. Determinação nos sistemas de praia

A determinação das faixas de salvaguarda nos sistemas praia, nos anos 2020, 2030 e 2050, foram realizadas, tal como referido no capítulo III, através do modelo aplicado por Ferreira *et al.* (2006).

Recorda-se, como foi referido no capítulo III, que as linhas:

- S0: Representa a linha representada no ano de 2010
- S10, S20 e S40: Representa as variações apuradas de 1965-2010 x o período temporal a ser estudado, para os anos de 2020, 2030 e 2050, respetivamente
- S10c, S20c e S40c: Representa o resultado obtido no ponto anterior com a junção: (i) dos valores da subida do nível médio do mar de acordo com o *IPCC*; (ii) da distância horizontal do perfil de praia; (iii) da profundidade de fecho do perfil de praia; (iv) da altura máxima da praia alta, nos diversos períodos temporais estudados
- S10s, S20s e S40s: Representa a erosão induzida por temporal, nos diversos períodos temporais estudados

Para o ano de 2020, o valor de cada transecto foi calculado segundo a Eq.(8) à qual se designou a linha S10, variando esta de acordo com cada praia.

Na praia da Calada (figura 5.18), a linha representada por S10 permanecerá igual à linha identificada por S0, porque nesta praia todos os valores dos transectos sofreram acreção.

Na praia de São Lourenço (figura 5.19), o setor norte manter-se-á igual à linha S0, porque caracteriza-se por acreção. Em contrapartida, o setor central e sul, irão sofrer erosão, com a linha de S10 a variar entre 1,4 m e 6,2 m em relação à linha de S0.

Na praia dos Coxos (figura 5.20), o único setor que contém erosão localiza-se junto à plataforma rochosa de sopé, onde a linha de S10 irá migrar 3 m em relação à linha de S0. Os restantes setores caracterizam-se por acreção.

Na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.21), a linha no setor norte, será similar à linha do S0. Nos restantes setores, por conter erosão, a mesma linha migrará 1,8 m a 18 m em relação à linha S0.

Na praia do Algodio (figura 5.22) e na praia da Baleia (figura 5.23) ocorrerá acreção.

A praia da Foz do Lizandro, ilustrada pela figura 5.24, apresenta em relação à linha de S0 uma variação entre 0,3 m a 11,8 m.

Relativamente à linha do S10c, também para o ano de 2020, calculada segundo a Eq. (11), no caso de ocorrer erosão e calculada segundo a Eq. (12), no caso de ocorrer acreção.

Na praia da Calada (figura 5.18) não se regista variação

Na praia de São Lourenço (figura 5.19), tal como ocorre na linha S10, no setor norte a linha S10c manter-se-á igual à linha do S0, no entanto, nos restantes setores a linha S10c migrará para o interior entre 4,2 m e 9 m.

Na praia dos Coxos (figura 5.20), junto à plataforma rochosa de sopé, a linha S10c varia 5,3 m em relação à linha S0, sendo que nos restantes setores a linha encontrar-se-á sobreposta com a S0.

Na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.21), no setor norte, a linha S10c permanecerá igual à linha do S0 e nos restantes setores a linha migrará entre 4,2 m a 20,7 m.

Na praia do Algodio (figura 5.22) e na praia da Baleia (figura 5.23) a linha S10c permanecerá igual à linha de S0.

Na praia da Foz do Lizandro (figura 5.24), a linha S10c migrará para o interior entre 3,9 m e os 15,4 m em relação à linha S0.

Com a introdução dos valores induzidos por temporais (a linha S10s), em todas as praias, irão recuar, de acordo com a Eq. (15).

Na praia da Calada (figura 5.18), toda a praia sofre um recuo de 32,5 m, no entanto, tal como demonstra a figura , a linha não pode ultrapassar a base da arriba, assim, esta foi

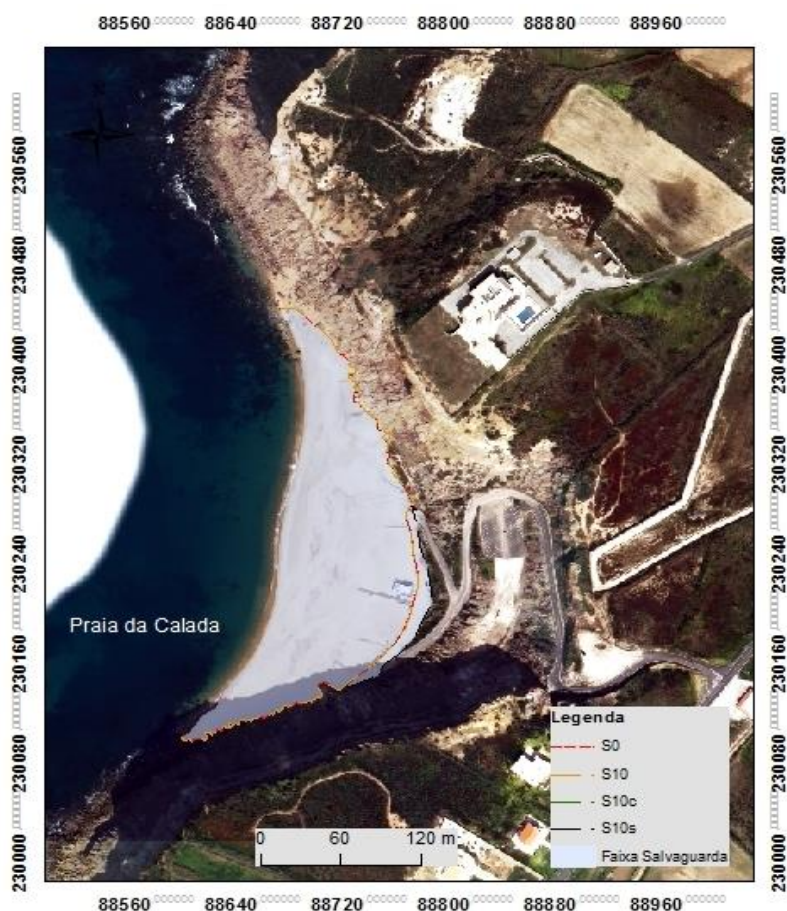
representada, tanto no setor norte como no setor sul, pela linha da base da arriba, e no setor central pelo limite superior do parque de estacionamento.

Na praia de São Lourenço (figura 5.19), no setor norte, a linha S10s variará 44,8 m e nos restantes setores migrará entre 49 m a 53 m em relação à linha S0. No entanto, a linha foi representada pela base da arriba, uma vez que não pode ultrapassar a mesma no setor a norte e a sul.

Na praia dos Coxos (figura 5.20), no setor norte, variará 27,6 m e nos restantes setores, entre 22 m a 26 m, tal como ocorre nas restantes praias, com exceção do setor norte, onde a linha S10s foi representada pela base da arriba.

Na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.21), os valores variarão entre 41 m e 62 m, no entanto, no setor norte, a mesma foi representada pela linha da base da arriba.

Na praia do Algodio (figura 5.22), a linha S10s, apesar de variar 38 m em relação à linha S0, a mesma foi representada pela linha do muro porque a mesma não pode ultrapassar a base da arriba (representada neste caso por um muro). Opção idêntica foi tomada para a praia da Baleia (figura 5.23), onde a linha S10s, apesar de variar 46,6 m em relação à linha S0, a mesma foi representada pela base da arriba.



Na praia da Foz do Lizandro (figura 5.24), a linha S10s migrará entre 57 m e 69 m em relação à linha S0.

Figura 5.18: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia da Calada



Figura 5.19: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia de São Lourenço



Figura 5.20: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia dos Coxos



Figura 5.21: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia de Ribeira d'Ilhas



Figura 5.22: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia do Algodio



Figura 5.23: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia da Baleia



Figura 5.24: Representação das linhas S0, S10, S10c, S10s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2020, na praia da Foz do Lizandro

Para o ano de 2030, o valor de cada transecto foi calculado segundo a Eq.(8) à qual se designou a linha S20, variando esta de acordo com cada praia.

Na praia da Calada (figura 5.25), a linha representada por S20 permanecerá igual à linha identificada por S0, tal como o setor norte da praia de São Lourenço (figura 5.26). Em contrapartida, o setor central e sul irão sofrer erosão, com a linha de S20 a variar entre 3,4 m e 12,4 m em relação à linha de S0.

Na praia dos Coxos (figura 5.27), o único setor onde presumivelmente existirá erosão localiza-se junto à plataforma rochosa de sopé, onde a linha de S20 migrará 6 m em relação à linha de S0. Os restantes setores caracterizam-se por conter acreção, por isso, a linha sobrepõe-se a S0.

Na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.28), a linha no setor norte, será similar à linha do S0. Nos restantes setores, por conter erosão, a mesma linha varia 3 m a 36 m em relação à linha S0.

A praia do Algodio (figura 5.29) tal como a praia da Baleia (figura 5.30) revela um cenário idêntico à praia dos Coxos.

A praia da Foz do Lizandro, ilustrada pela figura 5.31, é caracterizada por evidenciar uma migração para o interior da linha de S20 entre 0,6 m a 23,6 m em relação à linha de S0.

Relativamente à linha do S20c, também para o ano de 2030, calculada segundo a Eq. (11), no caso de ocorrer erosão e calculada segundo a Eq. (12), no caso de ocorrer acreção.

Na praia da Calada (figura 5.25), tal como acontece na representação da linha S20, tal como no setor norte da praia de São Lourenço (figura 5.26). Em contrapartida, o setor central e sul irão sofrer erosão, com a linha S20c variar entre 8 m e 17 m em relação à linha de S0.

Na praia dos Coxos (figura 5.27), o único setor onde presumivelmente existirá erosão localiza-se junto à plataforma rochosa de sopé, onde a linha S20c migrará 9,8 m em relação à linha S0. Os restantes setores caracterizam-se por conter acreção, por isso, a linha sobrepõe-se a S0.

Na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.28), no setor norte, a linha S20c permanecerá igual à linha do S0 por conter acreção e nos restantes setores a linha migrará entre 7,4 m a 40 m.

Na praia do Algodio (figura 5.29) e na praia da Baleia (figura 5.30) revela um cenário idêntico à praia dos Coxos

Na praia da Foz do Lizandro (figura 5.31), a linha S20c variará entre 6,4 m e os 29,4 m em relação à linha S0.

Com a introdução dos valores induzidos por temporais a linha S20s, em todas as praias, irão recuar, de acordo com a Eq. (15).

Na praia da Calada, ocorrerá um recuo de 43 m, no entanto, tal como demonstra a figura 5.25, a linha não pode ultrapassar a base da arriba. Assim, esta foi representada, tanto no setor norte como no setor sul, pela linha da base da arriba, e no setor central pelo limite superior do parque de estacionamento.

Na praia de São Lourenço (figura 5.26), no setor norte, a linha S20s varia 55,4 m e nos restantes setores variará entre 62,9 m a 72,5 m em relação à linha S0. No entanto, o setor a norte e a sul apesar dos resultados, a linha foi representada pela base da arriba, uma vez que não pode ultrapassar a mesma.

Na praia dos Coxos (figura 5.27), no setor norte, variará 42,25 m e nos restantes setores, entre 32,4 m a 40,6 m, tal como ocorre nas restantes praias, com exceção do setor norte, onde a linha S20s foi representada pela base da arriba.

Na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.28), os valores variarão entre 60 m e 92,8 m, salvo no setor norte (base da arriba).



Na praia do Algodio (figura 5.29) e na praia da Baleia (figura 5.30), a linha S20s, apesar de variar 49 m e 57,6 m em relação à linha S0, respetivamente, a mesma foi representada pela linha do muro ou pela base da arriba.

Na praia da Foz do Lizandro (figura 5.31), a linha S20s variará entre 71 m e 94 m em relação à linha S0.

Figura 5.25: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia da Calada



Figura 5.26: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia de São Lourenço



Figura 5.27: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia dos Coxos

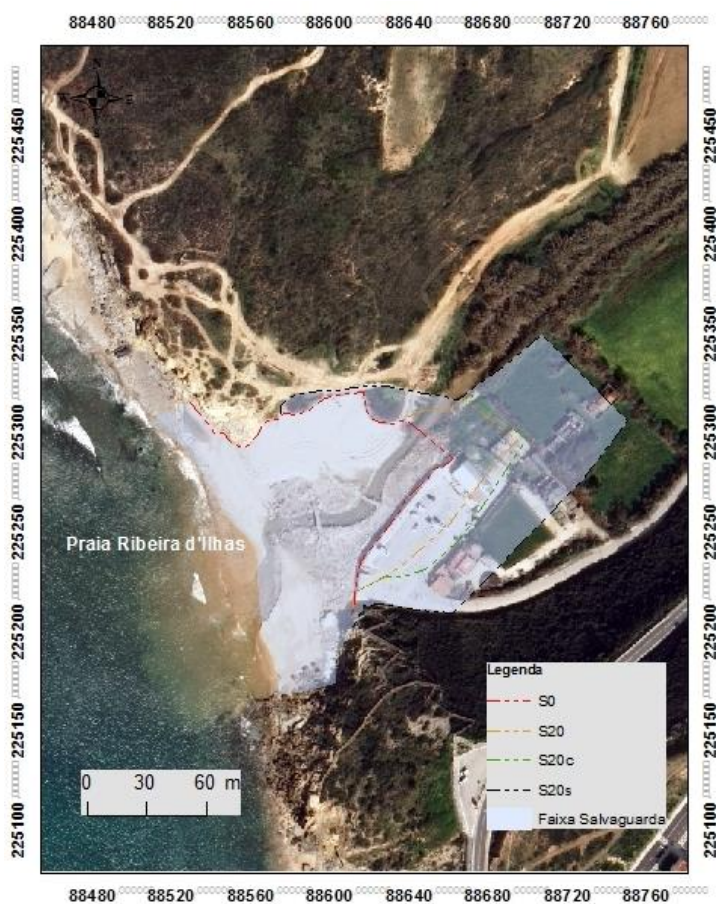


Figura 5.28: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia de Ribeira d'Ilhas

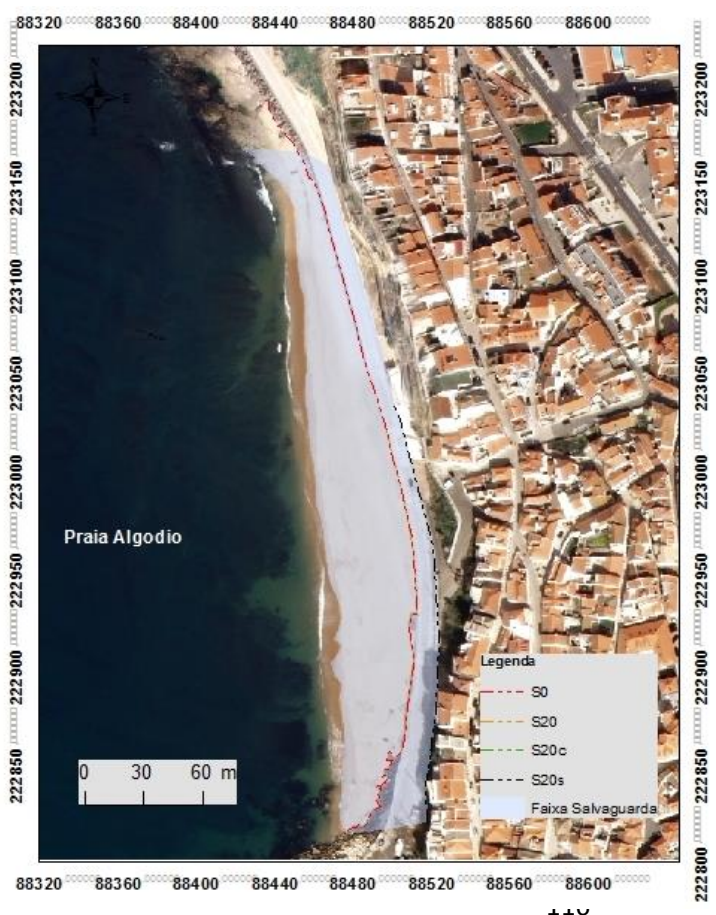


Figura 5.29: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia do Algodio

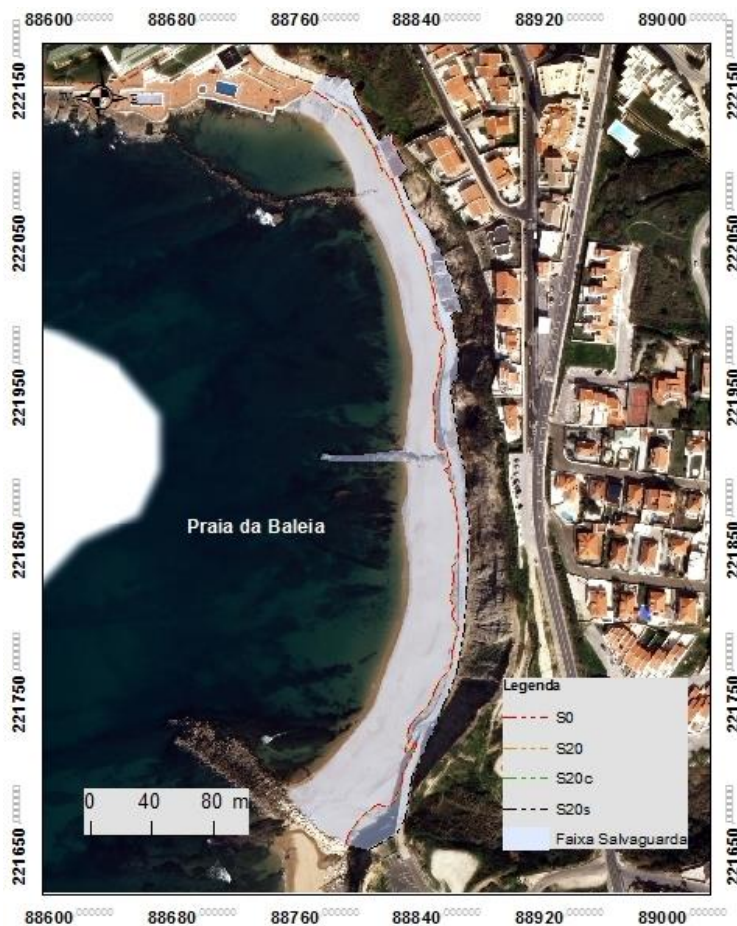


Figura 5.30: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia da Baleia



Figura 5.31: Representação das linhas S0, S20, S20c, S20s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2030, na praia da Foz do Lizandro

Para o ano de 2050, o valor de cada transecto foi calculado segundo a Eq.(8) à qual se designou a linha S40, variando esta de acordo com cada praia.

Na praia da Calada (figura 5.32), a linha representada por S40 permanecerá igual à linha identificada por S0, tal como o setor norte da praia de São Lourenço (figura 5.33). Em contrapartida, o setor central e sul, irão sofrer erosão, na qual a linha de S40 varia entre os 5,6 m e os 24,8 m em relação à linha de S0.

Na praia dos Coxos (figura 5.34), o único setor que contém erosão localiza-se junto à plataforma rochosa de sopé, onde a linha de S40 irá migrar 12 m em relação à linha de S0. Os restantes setores caracterizam-se por conter acreção, por isso, a linha não irá constatar alteração em relação a S0.

Na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.35), a linha no setor norte, será similar à linha do S0. Nos restantes setores, por conter erosão, a mesma linha migrará 6 m a 72 m em relação à linha S0.

A praia do Algodio (figura 5.36) e a praia da Baleia (figura 5.37) caracterizam-se por conter acreção, como tal a linha S40 encontrar-se-á igual à linha de S0 por conter acreção.

A praia da Foz do Lizandro, ilustrada pela figura 5.38, é caracterizada por evidenciar erosão, com a linha de S40 varia entre 1,2 m a 47,2 m em relação à linha de S0.

Relativamente à linha do S40c, também para o ano de 2030, calculada segundo a Eq. (11), no caso de ocorrer erosão e calculada segundo a Eq. (12), no caso de ocorrer acreção.

Na praia da Calada (figura 5.32) e no setor norte da praia de São Lourenço (figura 5.33) tal como acontece na representação da linha S40, a linha S40c permanecerá igual à linha do S0. No entanto, nos restantes setores da segunda praia, a linha de S40c variará entre 14,4 m e 33,6 m por evidenciar erosão.

Na praia dos Coxos (figura 5.34), junto à plataforma rochosa de sopé a linha S40c varia 19,2 m em relação à linha S0, sendo que nos restantes setores a linha encontrar-se-á sobreposta com a S0.

Na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.35), no setor norte, a linha S40c permanecerá igual à linha do S0 por conter acreção e nos restantes setores a linha variará entre 14,5 m a 80,5 m.

Na praia do Algodio (figura 5.36) e na praia da Baleia (figura 5.37) a linha S40c permanecerá igual à linha de S0 porque as mesmas evidenciarão acreção.

Na praia da Foz do Lizandro (figura 5.38), a linha S40c variará entre 12,3 m e os 58,3 m em relação à linha S0.

Com a introdução dos valores induzidos por temporais a linha S40s, em todas as praias, irão recuar, na qual o seu resultado é de acordo com a Eq. (15).

Na praia da Calada toda a praia contém um recuo de 54 m, no entanto, tal como demonstra a figura 5.32, a linha não pode ultrapassar a base da arriba, assim, esta foi representada, tanto no setor norte como no setor sul, pela linha da base da arriba, e no setor central pelo limite superior do parque de estacionamento.

Na praia de São Lourenço (figura 5.33), no setor norte, a linha S40s varia 67 m e nos restantes setores variará entre 84 m a 100 m em relação à linha S0. No entanto, a setor a norte e a sul apesar dos resultados, a linha foi representada pela base da arriba.

Na praia dos Coxos (figura 5.34), no setor norte, variará 62 m e nos restantes setores, entre 43,1 m a 59,2 m, tal como ocorre nas restantes praias, com exceção do setor norte, onde a linha S40s foi representada pela base da arriba.

Na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.35), os valores variarão entre 78,3 m e 144 m, no entanto, no setor norte, a mesma foi representada pela linha da base da arriba. Na praia do Algodio



(figura 5.36), a linha S40s, apesar de variar 60 m em relação à linha S0, a mesma foi representada pela linha do muro. Na praia da Baleia (figura 5.37), a linha S40s, apesar de variar 69,3 m em relação à linha S0, a mesma foi representada pela linha da base da arriba.

Na praia da Foz do Lizandro (figura 5.38), a linha S40s variará entre os 89 m e os 135 m em relação à linha S0.

Figura 5.32: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2050, na praia da Calada



Figura 5.33: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda para o ano de 2050, na praia de São Lourenço



Figura 5.34: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2050, na praia dos Coxos

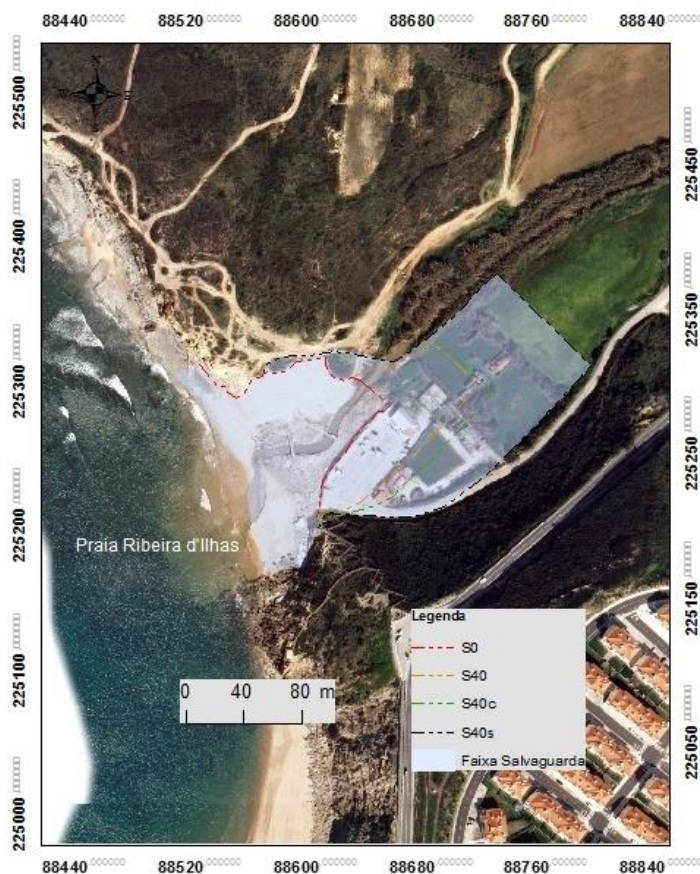


Figura 5.35: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2050, na praia de Ribeira d'Ilhas

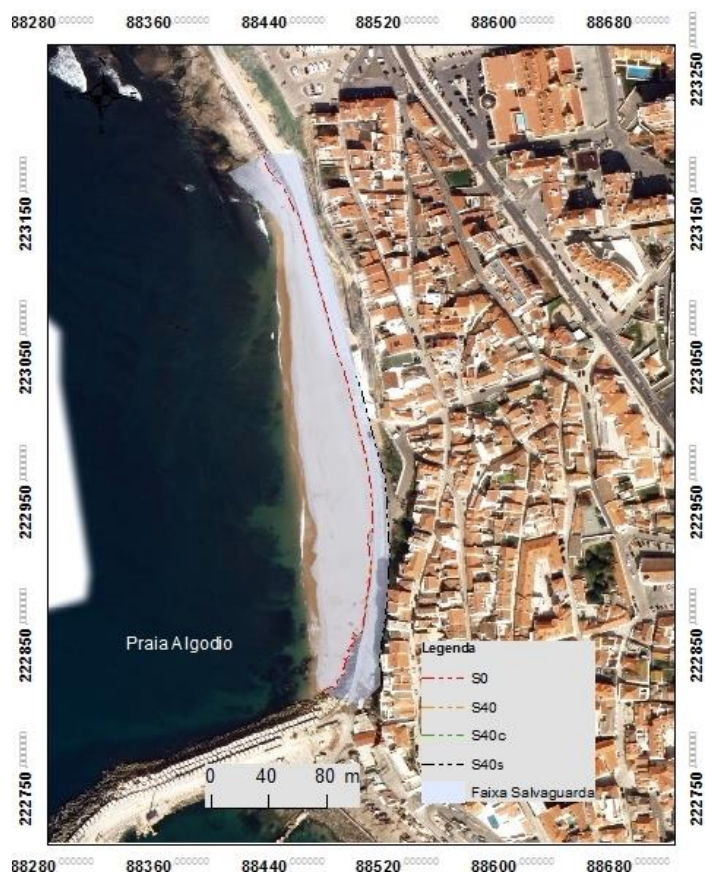


Figura 5.36: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para o ano de 2050, na praia do Algodio



Figura 5.37: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para 2050, na praia da Baleia



Figura 5.38: Representação das linhas S0, S40, S40c, S40s e da faixa de salvaguarda, para 2050, na praia da Foz do Lizandro

Relativamente à susceptibilidade de ocorrência de galgamentos oceânicos, esta foi calculada com base na Eq. (17), apresentando uma cota máxima de espraio de 6,10 m. De acordo com as faixas de salvaguarda estipuladas para os horizontes temporais em estudo, salienta-se a ocorrência de galgamentos oceânicos na praia de São Lourenço (figuras 5.39 e 5.40) e na praia de Ribeira d'Ilhas (figura 5.41 e 5.42).

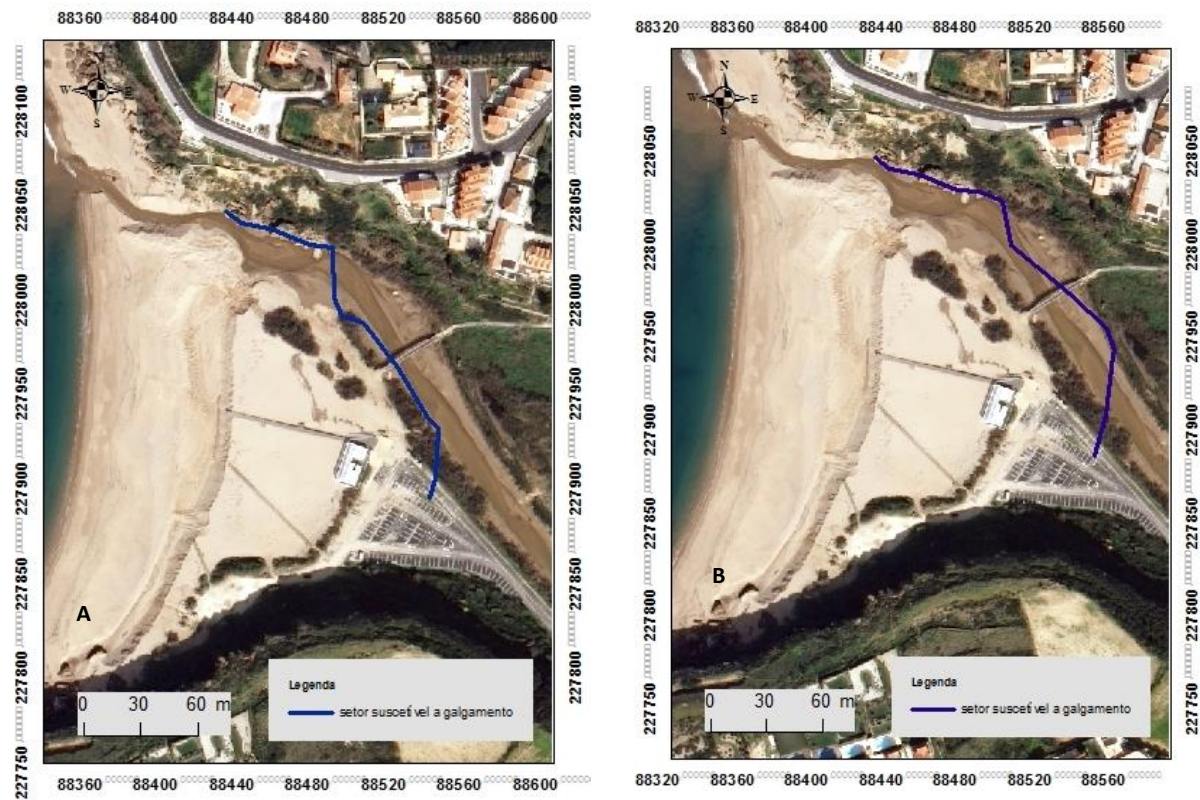


Figura 5.39: Representação do setor suscetível a galgamento oceânico na praia de São Lourenço: a) para o ano de 2020; b) para o ano de 2030

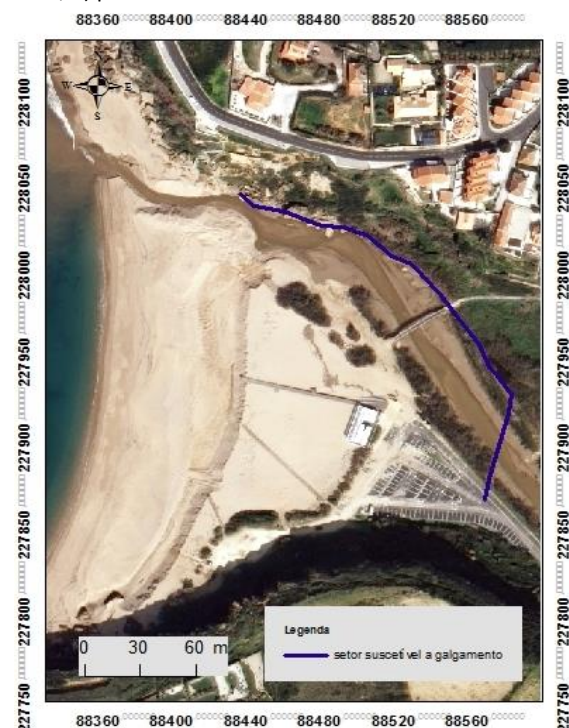


Figura 5.40: Representação do setor suscetível a galgamento oceânico, para o ano de 2050, na praia de São Lourenço

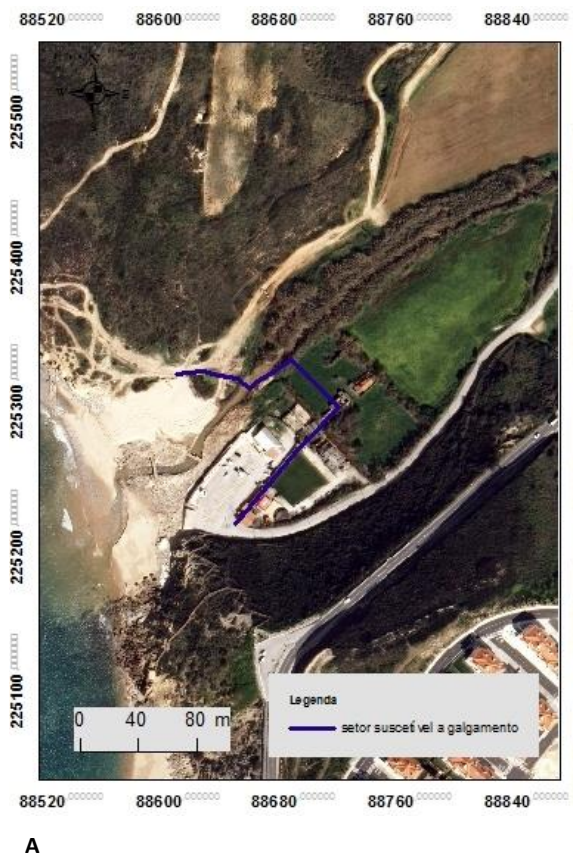


Figura 5.41: Representação do setor suscetível a galgamento oceânico na praia de Ribeira d'Ilhas: a) para o ano de 2020; b) para o ano de 2030



Figura 5.42: Representação do setor suscetível a galgamento oceânico, para o ano de 2050, na praia de Ribeira d'Ilhas

No que diz respeito aos elementos expostos, tal como ocorre nas arribas, somente serão analisados os dados para o ano de 2050 e, tal como referido no capítulo III, os mesmos serão também analisados consoante a BGRI.

Assim, a partir do quadro 5.3, observa-se que nenhuma população será afetada uma vez que a tipologia do edificado presente em todas as áreas de estudo são do tipo “não residencial”. Este tipo de edificado contém um material de construção caracterizado por “sem placa” e com 1 ou 2 pisos.

Quadro 5.3

Representação do número total de residentes e por classes etárias, tipologia e material de construção do edificado e o número de pisos por edificado, para cada praia, que será afetado em 2050

Setor	Residentes	Edificado		Material Construção (Edificado)		Número Pisos (Edificado)	
	Total	Residencial	Não Residencial	Com Placa	Sem Placa	Pisos 1 ou 2	Pisos >3
Praia Calada	0	0	1	0	1	1	0
Praia São Lourenço	0	0	0	0	1	1	0
Praia dos Coxos	0	0	0	0	0	0	0
Praia Ribeira d'Ilhas	0	0	1	0	1	1	0
Praia Algodio	0	0	1	0	1	1	0
Praia da Baleia	0	0	2	0	2	2	0
Praia Foz do Lizandro	0	0	3	0	3	3	0

Na praia da Calada, na praia de São Lourenço, na praia de Ribeira d’Ilhas, na praia do Algodio, na praia da Baleia e na praia da Foz do Lizandro será afetado um edifício do tipo “não residencial” e do tipo “sem placa” (apoio de praia) com um ou dois pisos. Na praia dos Coxos nada será afetado, uma vez que esta praia não contém qualquer tipo de edificado nem apoios de praia.

Considerações Finais

A análise e a evolução da dinâmica dos diversos sistemas litorais revestem-se de uma enorme complexidade devido ao grande número de variáveis envolvidas, tanto naturais como antrópicas. Neste sentido, e com o objetivo de analisar a evolução dos sistemas litorais e definir as faixas de salvaguarda no concelho de Mafra, a presente dissertação exigiu a utilização de uma metodologia complexa.

Para a análise da evolução dos sistemas litorais presentes na área de estudo (sistemas de arriba, sistemas de praia-arriba, sistema praia-duna, sistema praia-planície aluvial e litoral artificializado), num horizonte temporal de 45 anos, recorreu-se fotografias aéreas de 1965 e ao ortofotomapa de 2010. Devido às distorções associadas às fotografias aéreas, foi necessário proceder-se à georreferenciação das mesmas, tendo como referencial cartográfico o ortofotomapa de 2010. Os erros de georreferenciação foram quantificados na distribuição espacial das taxas de variação. Posteriormente, escolheu-se o indicador do topo de arriba, nos sistemas de arribas, que serviram para representar a posição do topo da arriba nos dois períodos estudados. Nos sistemas praia a escolha dos vários indicadores, tais como, a base da arriba, a influência antrópica, a vegetação e a vegetação dunar serviram para representar a posição da linha de costa nos dois períodos em análise. De seguida, procedeu-se ao cálculo das taxas de variação em ambos os sistemas com a utilização da ferramenta DSAS.

Nos sistemas de arriba, a variação espacial dos recuos não se comporta uniformemente ao longo da área de estudo. A mesma contém uma média de 0,05 m/ano, tendo como valores mínimos e máximos, 0 m/ano e os 0,42 m/ano, respetivamente, estimados para o horizonte temporal referido. O intervalo de [0,15 a 0[m/ano exibe 60% dos recuos, sendo a classe com maior predominância ao longo de todo o litoral estudado. O intervalo de [0,42 a 0,35[m/ano representa 3% dos recuos, sendo o menos observado na área de estudo.

Nos sistemas de praia, tal como ocorre nos sistemas de arriba, a sua variação espacial não se comporta uniformemente. O valor máximo de acreção é de 0,71 m/ano e o valor máximo de erosão é de 1,2 m/ano.

As projeções das faixas de salvaguarda para os anos de 2020, 2030 e 2050 foram calculadas através de métodos analíticos. Para os sistemas de arriba, foi necessário modificar um modelo existente na bibliografia, na qual se designou por *Scape model modificado*. Neste modelo, para além das variáveis existentes no modelo original (as taxas de variação obtidas nos sistemas de arriba e a subida do nível do mar) englobou-se os processos existentes na área de estudo (movimentos de massa e erosão hídrica). Tal facto permite compreender a evolução das

arribas, constituindo-se assim, como uma indicação da sua dinâmica. Com a aplicação deste modelo, verificou-se que os resultados obtidos são muito semelhantes ao modelo original, com exceção dos casos em que existe estabilidade das arribas, em que nesses locais o valor do *Scape model modificado* é ligeiramente superior, devido à evolução das arribas.

Para os sistemas de praia adotou-se o modelo utilizado por Ferreira *et al.* (2006). Este modelo tem em consideração as taxas de acreção, de estabilidade e de recuo das praias, bem como diversas variáveis referentes a este tipo de sistema, tais como a profundidade de fecho e a altura máxima da praia alta. Com a aplicação deste modelo verificou-se que nos sectores em que a taxa de variação se caracteriza por acreção, a linha nos períodos estudados permanece igual à linha obtida no ano de 2010. Nestes sectores, com a introdução dos temporais, verifica-se que o resultado obtido passa a ser caracterizado por erosão, variando entre 32,5 m e 46,6 m ao longo dos períodos e das praias estudadas. Nos sectores em que a taxa de variação se caracteriza por erosão, para o ano de 2050, verificou-se uma migração para o interior de 33,6 m em relação à linha de 2010 na praia de São Lourenço e de 80,5 m na praia de Ribeira d'Ilhas. Nestes resultados contabilizou-se os valores da subida do nível médio do mar para o mesmo ano de acordo com o *IPCC*. Com a introdução dos temporais, os resultados são superiores aos expostos anteriormente, verificando-se 67 m de erosão na praia de São Lourenço e 144 m na praia de Ribeira d'Ilhas, apesar deste valor, espacialmente, ter sido representado pela base da arriba. Porém, a demarcação da faixa de salvaguarda nestes dois casos, foi condicionada pela presença da arriba, optando-se, nestas situações, pela representação pela base da arriba, deixando o sistema diretamente exposto à erosão. Nos restantes casos em que a faixa de salvaguarda encontra-se condicionada por elementos antrópicos (parque de estacionamento e muro de proteção), a sua demarcação foi elaborada com base nos limites destes elementos.

Os setores litorais mais suscetíveis à ocorrência de galgamentos oceânicos encontram-se na praia de São Lourenço e na praia de Ribeira d'Ilhas.

A validação do modelo nos sistemas de arriba resultou numa correlação dos resultados calculados de 1965 para 2010 e os resultados projetados para o ano de 2050, sendo que o resultado desta correlação foi de 0,99999543, uma vez que estas projeções foram realizadas com base em modelos teóricos e, estatisticamente, o resultado da correlação é considerado muito forte. A validação do modelo nos sistemas praia resultou em duas correlações. A primeira teve em conta os recuos obtidos para o período de 1965-2010 e os recuos estimados para 2050, sem incluir a existência de temporais. A segunda teve em conta, tal como a primeira, os recuos obtidos para o período de 1965-2010 e os recuos estimados para 2050, na

qual são introduzidos os temporais. A primeira correlação conteve um resultado de 0,9972 e a segunda obteve um resultado de 0,8348. Estatisticamente, ambas as correlações são consideradas fortes apesar de, tal como salientado, este modelo ter sido aplicado para praias contínuas e não encastradas ou estuarinas.

A identificação dos elementos expostos para o ano de 2050 realizou-se a partir da COS e da BGRI. Nos sistemas de arriba serão afetadas principalmente zonas agrícolas, no entanto, as rodovias e os edifícios junto às arribas também serão afetados. Destaca-se um total de 56 edifícios do tipo residencial e 1 edifício do tipo não residencial, o Hotel Vila Galé da Ericeira. Nos sistemas de praia, somente serão afetados edifícios do tipo não residencial, como é o caso dos apoios de praia.

Os resultados obtidos nesta dissertação, em relação às faixas de salvaguarda, devem ser compreendidos como uma primeira abordagem a um assunto com um elevado nível de incerteza, uma vez que os resultados demonstrados acerca da subida do nível do mar, de acordo com o *IPCC*, são meras projeções no pior cenário. No entanto, há que ter em atenção os elementos expostos que poderão ser afetados, caso as mesmas projeções sejam tão severas.

Este tipo de estudo considera-se, embora o grau de incerteza, uma ferramenta de apoio às instituições responsáveis pela gestão da orla costeira, com o intuito de evitar as perdas humanas e materiais. A sua inclusão nos instrumentos de ordenamento do território, nomeadamente nos novos Programas da Orla Costeira, poderá ser uma forma de incitar a mitigação e a prevenção no litoral.

Referências Bibliográficas

- Agência Portuguesa do Ambiente (2011) *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo*. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território
- Alveirinho Dias J (2003) *Portugal e o Mar: Importância da oceanografia para Portugal*. Universidade do Algarve, Faro
- Alveirinho Dias J (2004) A história da evolução do litoral português nos últimos vinte milénios. In Tavares A, Tavares M & Cardoso J (Org.) *Evolução Geohistórica do Litoral Português e Fenómenos Correlativos: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*. Lisboa: 157-170
- Alveirinho Dias J, Klein A, Freire P, Silva P, Freitas C (2011) Importância do conhecimento sobre a morfodinâmica estuarina e costeira para a gestão do litoral. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 11(3): 271-272
- Andrade C, Pires H, Silva P, Taborda R, Freitas M (2006) Zonas Costeiras. In Santos F e Miranda P (eds.) *Alterações Climáticas em Portugal: Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - Projecto SIAM II*. Gravia, Lisboa: 169-208
- Antunes C e Taborda R (2009) Sea Level at Cascais Tide Gauge: Data, Analysis and Results. *Journal of Coastal Research*, 56: 218-222
- ARH Tejo (2009) Estratégias para a Proteção e Valorização do Litoral: Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste. *Tágides*, 2: 1-148
- Baptista P (2006) *O sistema de posicionamento global aplicado ao estudo de litorais arenosos*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro
- Boak E and Turner I (2005) Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 21(4): 688-703
- Brooks S, Spencer T (2012) Shoreline retreat and sediment release in response to accelerating sea level rise: Measuring and modelling cliffline dynamics on the Suffolk Coast, UK. *Global and Planetary Change*, 80-81: 165-179
- Buckle P, Marsh G, Smale S (2000) New Approaches to assessing vulnerability and resilience. *The Journal of Emergency Management*, 15: 8-14
- Cabral J e Ribeiro A (1988) Carta Neotectónica de Portugal Continental na escala 1:1 000 000. *Direção Geral de Geologia e Minas*
- Carter R (1988) *Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Academic Press, London
- Castedo R, la Vega-Panizo R, Fernández-Hernández M, Paredes C (2015) Measurement of historical cliff-top changes and estimation of future trends using GIS data between Bridlington and Hornsea – Holderness Coast (UK). *Geomorphology*, 230: 146-160
- Costa C (coord.) (2005) Protocolo de colaboração para o desenvolvimento da cartografia geológica na Área Metropolitana de Lisboa. Carta geológica – planta II.4
- Cruz C (2009) O papel dos sistemas dunares litorais nos Planos de Ordenamento da Orla Costeira. *Tágides*, 5: 141-148
- Cutter S, Barnes L, Berry M, Burton C (2008) A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18: 598-606

Decreto-Lei nº 159/2012, de 24 de Julho (Planos de Ordenamento da Orla Costeira) http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1767&tabela=leis&so_miolo= [acedido em 30 de outubro de 2014]

Decreto-Lei nº 239/2012, de 02 de novembro (Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional) http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=2017&tabela=leis&ficha=1&pagina=1& [acedido em 30 de outubro de 2014]

Despacho nº 12/2010, de 25 de janeiro (Jurisdição do Instituto da Água, I.P. – demarcação do leito e margens das águas do mar)

Dias, H (1980) *A plataforma litoral a Norte de Sintra. Estudo dos depósitos de cobertura*. Relatório nº11, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa

Dodet G, Bertin X, Taborda R (2010) Wave climate variability in the North – East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling*, 31: 120-131

Doody P, Ferreira M, Lombardo S, Lucius I, Misdorp R, Niesing H, Salman A, Smallegange M, Veloso-Gomes F, Pinto F, Neves L, Barbosa J (2006) Eurosion – Viver com a erosão costeira na europa: sedimentos e espaço para a sustentabilidade. http://www.eurosion.org/project/eurosion_pt.pdf [acedido em 30 de Outubro de 2014]

Emery K and Kuhn G (1982) Sea cliffs: their processes, profiles and classification. *Geological Society of American Bulletin*, 93 (7): 644-654

Epifânio B (2013) *Instabilidade de arribas e avaliação da perigosidade no litoral da Lourinhã*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa

Ferreira Ó, Alveirinho Dias J, Martins T (1997) Morfodinâmica e Vulnerabilidade da praia de Faro. *Seminário sobre a zona Costeira do Algarve*: 67-76

Ferreira Ó, Garcia T, Matias A, Taborda R, Alveirinho Dias J (2006) An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. *Continental Shelf Research*, 26: 1030-1044

Freire P (1986) *Estudo geomorfológico de uma região na plataforma litoral a norte de Sintra (compreendida entre a Ericeira e Alenquer)*. Relatório de Estágio, Universidade de Lisboa, Lisboa

Freire P, Taborda R, Andrade C (2006) Caracterização das praias estuarinas do Tejo. *Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*

Genz A, Fletcher C, Dunn R, Frazer L, Rooney J (2007) The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, 23 (1): 87-105

Henriques C (2009) *Dinâmica de vertentes no contexto da Reserva Ecológica Nacional: o caso de estudo do concelho de Caldas da Rainha*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa

Houser C, Wernette P, Rentschlar E, Jones H, Hammond B, Trimble S (2014) Post-storm beach and dune recovery: Implications for barrier Island resilience. *Geomorphology*, 234: 54-63

IGP (2010) *Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS 2007) – Memória descritiva*.

IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York

- Julião R, Nery F, Ribeiro J, Castelo Branco M, Zêzere J (2009) *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil, Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Instituto Geográfico Português, 91
- Kullberg J, Rocha R, Soares A, Rey J, Terrinha P, Callapez P, Martins L (2006) A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In Dias R, Araújo A, Terrinha P, Kullberg J (eds.) *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Universidade de Évora: 317-368
- Lei nº31/2014 de 30 de maio (Lei de Bases Gerais da Política Pública de Solos, Ordenamento do Território e Urbanismo)
http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=2123&tabela=leis&ficha=1&pagina=1& [acedido em 20 de julho de 2015]
- Marques F (2009) Sea cliffs instability hazard prevention and planning: exemples of practice in Portugal. *Journal of Coastal Research*, SI56: 856-860
- Marques F e Andrade C (2009) *Parecer sobre o risco associado às arribas do Algarve*. Administração da Região Hidrográfica do Algarve
- Marques F, Penacho N, Queiroz S, Gouveia L, Matildes R, Redweik P (2013a) Estudo da adequabilidade das faixas de risco/salvaguarda definidas no POOC em vigor. Apa (eds.) *Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral abrangido pela Área de Jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo*. Lisboa
- Marques F, Matildes R, Redweik P, Penacho N, Queiroz S, Garzón V, Rosa M, Gonçalves T (2013b) Monitorização da evolução de fachadas de arribas seleccionadas: técnicas e resultados. In Apa (eds.) *Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral abrangido pela Área de Jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo*. Lisboa
- Neves M (2004) *Evolução actual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa
- Neves M (2006) *Os sistemas litorais da Estremadura. Classificação e caracterização geomorfológica*. DIFIL-4, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa
- Neves M (2008) Anthropogenic modifications in the erosional rhythm of a coastal cliff. Rocha do Gronho (western coast of Portugal). *Journal of Iberian Geology*, 34(2): 299-312
- Normais Climatológicas da Região de “Ribatejo e Oeste” (1991), correspondentes a 1951-80. *O Clima de Portugal*, Fasc. XLIX, Volume 2 – 2ª região, Instituto Meteorológico e Geofísica, Lisboa, ISSN 08704767
- Nunes M, Ferreira Ó, Schaefer M, Clifton J, Baily B, Moura D, Loureiro C (2009) Hazard assessment in rock cliffs at Central Algarve (Portugal): A tool for coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 52: 506-515
- Oliveira S (2005) *Evolução recente da linha de costa no troço costeiro Forte Novo-Garrão (Algarve)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa
- Paixão R (2011) *Avaliação da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar de Peniche-Baleal*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa
- Pinto C (2014) *Registo das ocorrências no litoral-Temporal de 3 a 7 de janeiro de 2014*. Relatório Técnico, Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa
- Ramos-Pereira A (2001) *O (s) oceano (s) e as suas margens*. Cadernos de Educação Ambiental 5, Edição do Instituto de Inovação Educacional, Lisboa, 123
- Ramos-Pereira A (2004) O espaço litoral e a sua vulnerabilidade. *Geoinova*, 9: 33-43

- Ramos-Pereira A (2008a) Sistemas litorais: dinâmicas e ordenamento. *Finisterra*, XLIII, 86: 5-29
- Ramos-Pereira A (2008b) *Sistemas Litorais: Dinâmicas e Ordenamento*. DIFIL-5, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa
- Ramos-Pereira A, Laranjeira M (2002) Vulnerabilidade dunar avaliada por uma lista de controlo. In Barbosa e Xavier (eds.) *Homenagem (in honorium) ao Professor Gaspar Soares de Carvalho*. Braga: 161-175
- Ramos-Pereira A e Trindade J (2011) Um fenómeno extremo de Levante em 23/02/2008. Implicações no ordenamento de praias. *VIII Congresso da Geografia Portuguesa – Repensar a Geografia para Novos Desafios. Competências, Investigação, Acção*
- Resolução do Conselho de Ministros nº11/2002, de 17 de janeiro (Plano de Ordenamento da Orla Costeira de Alcobaca-Mafra)
- Resolução do Conselho de Ministros nº82/2009, de 08 de setembro (Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira)
<https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2009/09/17400/0605606088.pdf> [acedido em 30 de Outubro de 2014]
- Resolução do Conselho de Ministros nº86/2003, de 03 de junho (Plano de Ordenamento da Orla Costeira de Sintra-Sado)
- Rey J (2006) Stratigraphie séquentielle et séquences de dépôt dans le crétacé inférieur du Bassin Lusitanien. *Ciências da Terra*, Volume Especial VI: 120
- Santos F, Lopes A, Moniz G, Ramos L, Taborda R (2014) *Gestão da Zona Costeira – O Desafio da Mudança*. Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território
- Silva A, Taborda R, Lira C, Andrade C, Silveira T, Freitas M (2013) Determinação e cartografia da perigosidade associada à erosão de praias e galgamento oceânico. In Apa (eds.) *Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral abrangido pela Área de Jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo*. Lisboa
- Sunamura T (1992) *Geomorphology of rocky coasts*. John Wiley & Sons, Chichester
- Teixeira S (2006) Slope mass movements on rocky sea-cliffs: A power-law distributed natural hazard on the Barlavento Coast, Algarve, Portugal. *Continental Shelf Research*, 26: 1077-1091
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, Ayhan (2009) Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change. *U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278*. *current version 4.3
- Trindade J (2010) *Dinâmica morfosedimentar de praias dominadas por sistemas de arriba (Peniche-Cascais)*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Aberta, Lisboa
- TTerra (2009) *Projecto de execução do levantamento da cartografia de ocupação do solo do concelho de Mafra – Relatório Final*. Évora
- Vallejo L, Ferrer M, Ontuño L, Oteo C (2002) *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall, Madrid
- Varnes D, International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes (1984) *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris
- Veloso-Gomes F, Barroco A, Ramos-Pereira A, Reis C, Calado H, Ferreira J, Freitas M, Biscoito M (2007) *GIZC-Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

Zbyszewski G, D'Almeida F, Assunção C (1955) Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50 000. Notícia Explicativa da Folha 30-C Torres Vedras. *Serviços Geológicos de Portugal*: 33

Zêzere J (2005) *Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos – Programa*. Relatório nº41, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa